



**XII Firma**  
**2023 online**



XII Foro  
Iberoamericano  
de los  
Recursos Marinos  
y la Acuicultura

Por la sostenibilidad de los recursos acuáticos  
y la acuicultura en el marco de la economía azul

# XII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura

*Por la sostenibilidad de los recursos acuáticos y  
la acuicultura en el marco de la economía azul*

Juan Manuel Afonso  
Manuel Rey-Méndez, Nieves González-Henríquez,  
Marcos de Donato, Edgar Zapatas-Vivenes  
Paul Martin Baltazar Guerrero, José Javier Alió Mingo,  
César Lodeiros

### Esta obra se debería citar como:

Todo el libro:

Afonso, J. M., Rey-Méndez M., González-Henríquez N., De Donato M., Zapata-Vívenes E., Baltazar-Guerrero P. M., Alió Mingo J.J., Lodeiros C. 2024. XII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura: Fortaleciendo los objetivos de desarrollo sostenible para la pesca y la acuicultura. Ediciones AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canaria, España, 1086 pp.

Trabajo:

Coelho P., Khemiri S., Figueira D., Sousa I., Raymundo A. (2024) Incorporation of *Chlorella vulgaris* in mayonnaise - a sustainable and healthy strategy Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui. 12: 480-477.

Nota de los editores:

Los manuscritos en extenso suponen memorias de los trabajos presentados en el XII FIRMA 2023 *online* y han sido revisados por el comité editorial del libro. Las opiniones y manifestaciones científicas en los artículos, construcción gramatical, así como el estilo, particularmente en la forma de exposición de autores, referencias y usos de símbolos, se respetaron para su publicación y son responsabilidad de los autores, quienes tienen también todo el derecho sobre ellos para su publicación por otras vías, incluyendo revistas científicas.

Composición gráfica y arte final

Marycruz García-González

garcia.marycruz@gmail.com

ISBN: 978-84-09-63680-8

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12576211>

La presente obra tiene una licencia *Creative Commons*. Todo usuario es libre de compartir, copiar, distribuir y comunicar públicamente los contenidos bajo las siguientes condiciones:



CC-BY Atribución: debe reconocer los créditos de cada uno de los contenidos de la manera especificada por el licenciente.

NC No comercial: obliga a que la obra no sea utilizada con fines comerciales.

SA Obras derivadas: permite obras derivadas bajo la misma licencia o similar.

# Índice General

	Pág.
Como citar este libro	ii
Índice general	iii
Presentación	xi
Auspiciado	xiii
Patrocinadores	xvii
Comité organizador del XII FIRMA online 2023	xix
Conclusiones	xxiv
Mejores trabajos científicos	xxvi
Concurso fotográfico II PhotoFIRMA	xxxii
Trabajos <i>in extenso</i>	
<b>Biodiversidad, conservación y evaluación de recursos</b>	
<b>Primer reporte del bagre marino <i>Genidens barbatus</i> (Lacepede, 1803), Siluriformes, Ariidae en la bahía de Puerto San Julián, Santa Cruz, Argentina</b>	1-12
<b>First report of the marine catfish <i>Genidens barbatus</i>, Siluriformes, Ariidae in the bay of Puerto San Julián, Santa Cruz, Argentina</b>	
María González Dubox, Romina Baggio, Aime Funes, Laura López Greco, Andrea Tombari	
<b>Estudio de la conectividad genética entre poblaciones atlanto-mediterráneas del cangrejo marino <i>Liocarcinus depurator</i></b>	13-34
<b>Study of genetic connectivity among Atlanto-Mediterranean populations of the marine crab <i>Liocarcinus depurator</i></b>	
Francesc Mestres, Sergi Lacueva, Natalia Campaña, Pere Abelló	
<b>Diagnóstico de la producción de ostión <i>Crassostrea</i> spp. e impactos ecosistémicos en la región de Manzanillo, Cuba</b>	35-53
<b>Diagnosis of oyster production <i>Crassostrea</i> spp and ecosystem impacts in the fishing region of Manzanillo, Cuba</b>	
Juan José Suárez-Gamboa, Abel Betanzos-Vega, Gustavo Arencibia-Carballo, Maximiliano Pérez Prohenza, Jorge Tello Cetina	
<b>Diversidad genética del erizo de mar gallego y su aplicación en la conservación. OURIXEN</b>	54-65
<b>Genetic diversity of the Galician Sea urchin and its application in conservation. OURIXEN</b>	
J. Quinteiro, N. González-Henríquez, L. Quinteiro, P. Cuiñas Olmedo, J. Ojea Martínez, C. Gabín-Sánchez, M. Rey-Méndez	
<b>Presencia del Nemátodo <i>Echinocephalus pseudouncinatus</i> en callos de hacha <i>Atrina maura</i></b>	66-84
<b>Infestation of the nematode <i>Echinocephalus pseudouncinatus</i> in the commercial pen shell <i>Atrina maura</i></b>	
M. Magali Gómez-Valdez, Lucía Ocampo, Liliana Carvalho-Saucedo, Ariel Cruz-Villacorta	
<b>Estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile. Provincia de Santa Elena Ecuador: MBON P2P una herramienta innovadora de muestreo</b>	85-103
<b>Community structure of the rocky intertidal at Punta Chile Beach, Santa Elena Province of Ecuador: MBON P2P, an innovative sampling tool</b>	
Víctor Andrade-Solorzano, Erika Salavarría, Luis Troccoli	

<b>Ictioplankton del río Paraná (Misiones, Argentina) en las diferentes etapas de llenado del embalse de Yacyretá</b>	104-115
<b>Ichthyoplankton of the Paraná River (Misiones, Argentina) in the different stages of Yacyretá reservoir's filling</b>	
Alicia Álvarez, María José Kuchurak, Gladys Graciela Garrido, Danilo Ramón Aichino	
<b>Bioinvasores: efectos e impactos en América del Sur</b>	116-166
<b>Bioinvaders: effects and impacts in South America</b>	
Gustavo Darrigran, Rodolfo Elias, Jaubet María Lourdes, Lucas Rieger de Oliveira, Ximena María Constanza Ovando, Simone Jaqueline Cardoso, Carlos Eduardo Belz, Alfredo Vilches	

---

## **Biología, fisiología y ecología de especies**

<b>Estudio del índice gonadosomático y factor de condición en estrellas de mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México</b>	168-184
<b>Study of the gonadosomatic index and condition factor in starfish, Puerto Ángel, Oaxaca, Mexico</b>	
Tania Abigail Martínez-Ángeles, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte, Verónica Mitsui Saito-Quezada	
<b>Fisiología digestiva de alevines de pacú (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) criados en estanques</b>	185-192
<b>Digestive physiology of pacu fry (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) raised in ponds</b>	
Mercedes Noemí Alvarenga, Yamila Eliana Rodríguez, Analía Verónica Fernández-Giménez	
<b>Edad y crecimiento del ronco blanco <i>Haemulon flaviguttatum</i>, (Gill 1872) en Puerto Ángel, Oaxaca</b>	193-205
<b>Age and growth of the yellow-spotted grunt <i>Haemulon flaviguttatum</i>, (Gill 1872) in Puerto Ángel, Oaxaca</b>	
Valeria Vázquez-Navarro, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte, Verónica Mitsui Saito-Quezada	
<b>Diagnóstico molecular de diferentes sublinajes clonales de cáncer transmisible</b>	206-226
<b>Molecular diagnosis of different clonal sublineages of transmissible cancer</b>	
Andrea Estrella Arias-Díaz, Martín Santamarina, Seila Díaz, Ana Pequeño-Valtierra, Jorge Rodríguez-Castro, José M C Tubio, Alicia L Bruzos	
<b>Optimizing Aquaculture Sustainability: Exploring Natural Approaches, Traditional Techniques, and Biomolecules for Fertility and Reproductive Management</b>	227-235
<b>Optimización de la sostenibilidad de la acuicultura: explorando enfoques naturales, técnicas tradicionales y biomoléculas para el manejo de la fertilidad y reproducción</b>	
Zarhouthi Ahlam, Ba Kadiata, El khalfi Bouchra, Soukri Abdelaziz	
<b>Biomolecules and their applications for the treatment of diseases caused by resistant bacteria in aquaculture</b>	236-245
<b>Biomoléculas y sus aplicaciones para el tratamiento de enfermedades causadas por bacterias resistentes en la acuicultura</b>	
Fatima Mourabiti, Soukayna Jarjini, Yassine Zouheir, Abdelaziz Soukri, Bouchra El Khalfi	

---

## **Biotecnología y bioproductos**

<b>Extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents in microwave: Preliminary study</b>	247-259
<b>Extração de compostos bioativos de uma alga castanha recorrendo ao uso de solventes eutécticos profundos em microondas: Estudo preliminar</b>	
Meirielly Jesus, Aloia Romaní, Joana Santos, Preciosa Pires, Elia Fernandes, Fernando Mata, Carla Ramos, Manuela Vaz-Velho	

<p><b>Formulación cosmética madurada con agua de mar e incorporando <i>Ulva lactuca</i> para su uso como peloide</b></p> <p><b>Cosmetic formulation matured with seawater and incorporating <i>Ulva lactuca</i> to be used as a peloide</b></p> <p>Gabriel Pereiro López</p>	260-279
<p><b>Retrotransposón Steamer y su aplicación como biomarcador en moluscos bivalvos</b></p> <p><b>Retrotransposon Steamer and its application as a biomarker in bivalve mollusks.</b></p> <p>Milton Montúfar-Romero, Valentina Valenzuela-Muñoz, Alonzo Alfaro-Núñez, Lenin Cáceres-Farías, María Mercedes Espinoza-Vera, Cristian Gallardo-Escárate</p>	280-293
<p><b>Efecto del uso de nisina en la bioconservación y características sensoriales de filetes de corvina <i>Cynoscion albus</i></b></p> <p><b>Effect of the use of nisin on the biopreservation and sensory characteristics of croaker fillets <i>Cynoscion albus</i></b></p> <p>Gerardo J. Cuenca-Nevárez, Juan C. Vélez Chica, Viviana Talledo Solórzano</p>	294-312
<p><b>Metodología de amplificación de los fragmentos del genoma mitocondrial de <i>Cerastoderma glaucum</i></b></p> <p><b>Methodology for amplification of fragments from the mitochondrial genome of <i>Cerastoderma glaucum</i></b></p> <p>González-Rosales E, Quintero L, Quintero J, Rey-Méndez M</p>	313-330
<p><b>Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de <i>Lippia graveolens</i> extraído por distintos métodos, contra bacterias patógenas de tilapia</b></p> <p><b>Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of <i>Lippia graveolens</i> extracted by different methods, against tilapia pathogenic bacteria</b></p> <p>Josué Rodolfo García-Pérez, Juan Francisco Pérez-Sabino, Susana Mendoza-Elvira, Antonio Jorge Ribeiro da Silva, Juan Bautista Ulloa-Rojas</p>	331-348
<p><b>Caracterización preliminar de proteinasas y lipasas obtenidas a partir de residuos de procesamiento del esturión ruso</b></p> <p><b>Preliminary characterization of proteinases and lipases obtained from Russian sturgeon processing waste</b></p> <p>Clara Liebana, María Victoria Laitano, Alejandro Peretta, Ignacio Quartiani, Ivana Soledad Friedman, Yamila Eliana Rodríguez, Juana Cristina del Valle, Analía Verónica Fernandez-Gimenez</p>	349-358
<p><b>hsp70 expression in Amur carp blood cells <i>Cyprinus rubrofuscus</i> under anesthesia following painful stimulus</b></p> <p><b>Expresión de hsp70 en células sanguíneas de carpas de Amur <i>Cyprinus rubrofuscus</i> bajo anestesia después de un estímulo doloroso</b></p> <p>André Luiz Veiga Conrado, Renata Stecca Iunes, Matheus Santos Costa, Rogério Oliveira Faleiros, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva</p>	359-371
<p><b>Capturas mitocondriales en los cánceres transmisibles del berberecho <i>Cerastoderma edule</i> (Bivalvia)</b></p> <p><b>Mitochondrial capture by transmissible cancers of cockles <i>Cerastoderma edule</i> (Bivalvia)</b></p> <p>Alicia L. Bruzos, Seila Díaz, Sara Rocha, Jorge Zamora, Jorge Rodríguez-Castro, David Posada, José M.C. Tubio</p>	372-395
<p><b>Estudio comparativo de la eficiencia de alimentación de tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> con biofloc generado a partir humus de lombriz (HUMUSOL)</b></p> <p><b>Comparative Study of the Feeding Efficiency of Tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> with Biofloc Generated from Earthworm Humus (HUMUSOL)</b></p> <p>Martín Añez</p>	396-404

<b>Propuesta para el estudio de acoplamiento molecular de las toxinas Pir A y Pir B (AHPND) de <i>Vibrio parahaemolyticus</i> con algunos posibles ligandos inhibidores</b> <b>Proposal for the study of molecular coupling of the toxins Pir A and Pir B (AHPND) of <i>Vibrio parahaemolyticus</i> with some possible inhibitory ligands</b>	405-414
Edison Pascal, Edgar Portillo, Aníbal Méndez, Helimar Vásquez	
<b>Identificación molecular de micobacterias no tuberculosas en Tilapia del Nilo <i>Oreochromis niloticus</i> cultivadas en la Amazonía Ecuatoriana</b> <b>Molecular identification of nontuberculous mycobacteria in Nile tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> cultured in the Ecuadorian Amazon</b>	415-434
Y. Rojas, J. Guarango Veletanga, A. Castro Cevallos, Y. Ledesma, J. H. de Waard	
<b>Definición de un juego de SNPs para su implementación en el análisis de la diversidad genética como Indicador Operativo de Bienestar (OWI) en el marco de la gestión sostenible del cultivo de <i>Octopus vulgaris</i></b> <b>Definition of a set of SNPs for implementation in the analysis of genetic diversity as an Operational Welfare Indicator (OWI) within the framework of the sustainable management of <i>Octopus vulgaris</i> cultivation</b>	435-447
Javier Quinteiro, Manuel Rey-Méndez	
<b>Caracterización de la microbiota de <i>Cherax quadricarinatus</i> (langosta de agua dulce) de cultivo en Cuba, durante su almacenamiento en refrigeración</b> <b>Characterization of the microbiota of <i>Cherax quadricarinatus</i> (freshwater lobster) cultured in Cuba, during refrigerated storage</b>	448-459
Whitney Sixela Rodríguez Fuertes, Aniley Fernández Valle, Yeniset Fumero Acosta, Sheila Ponte Betancourt, Raquel Silveira Coffigny	
<b>Incorporación de <i>Chlorella vulgaris</i> en mayonesa - a sustainable and healthy strategy</b> <b>Incorporação de <i>Chlorella vulgaris</i> em mayonaisse - uma estratégia sustentável e saudável</b>	460-477
Pedro Coelho, Sheyma Khemiri, Diogo Figueira, Isabel Sousa, Anabela Raymundo	
<b>Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organisms</b> <b>Resistencia a los antibióticos en la acuicultura y organismos acuáticos</b>	478-483
Soukayna Jarjini, Fatima Mourabiti, Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi	
<hr/> <b>Cambio climático, contaminación y efectos antrópicos</b> <hr/>	
<b>Variación del sistema carbónico y grado de saturación de carbonatos en una zona de cultivo de Mitilidos, Venezuela</b> <b>Variation of the carbon system and degree of carbonate saturation in a cultivation area of Mytilids, Venezuela</b>	485-507
Aristide Márquez, Jenson Romero, Andreina Lemus, Anais Díaz	
<b>Composición de la comunidad de fitoplancton en ambientes lénticos artificiales en la región urbana de Toledo, Paraná, Brasil</b> <b>Composition of the phytoplankton community in artificial lentic environments in the urban region of Toledo, Paraná, Brazil</b>	508-520
Alice Viene Serra Garcia, Beatriz Rios, Karine Nascimento, Maiko Scheibel, Mayara Cristina Marcondes Viana, Paula Frassinetti da Silva Batista, Pauliana Leão de Souza, Sergio Mauricio Valalongo dos Santos, Daniel da Silva Ladislau	
<b>Concentración de metales en un ejemplar de tiburón azul (<i>Prionace glauca</i>), Patagonia, Argentina</b> <b>Metal concentration in a specimen of the blue shark (<i>Prionace glauca</i>), Patagonia, Argentina</b>	521-530
Aimé I. Funes, Edgardo Intrieri, Jorge E. Marcovecchio, Andrea D. Tombari	

<b>Impact of stress on marine microorganisms</b>	531-537
<b>Impacto del estrés en los microorganismos marinos</b>	
Kadiata Ba, Ahlam Zarhouti, Bouchra EL Khalfi, Abdelaziz Soukri	

### **Cultivo de moluscos**

<b>Aplicação de pó de conchas de <i>Magallana gigas</i> (Thunberg, 1793) como corretivo de acidez dos solos</b>	539-549
<b>Application of seashell powder of <i>Magallana gigas</i> (Thunberg, 1793) as a soil acidity corrector</b>	
Fausto Silvestri Nayara Romero Oliveira, André Celestino Martins, Sara Rodrigues Duarte Montenegro, Cristiane Rampinelli Zanella, Luis Alberto dos Santos, Carla Cristina Almeida Loures	
<b><i>Anodontites trapesialis</i> (Lamarck, 1819): un molusco bivalvo de agua dulce con potencial para la diversificación de la acuicultura en Ecuador</b>	550-570
<b><i>Anodontites trapesialis</i> (Lamarck, 1819): a freshwater bivalve mollusk with potential for aquaculture diversification in Ecuador</b>	
Milton Montúfar-Romero, Walter Ruiz, José Pacheco, Enrique Salazar, Ulises Avendaño	
<b>Potencial de producción de perlas de abalón <i>Haliotis</i> spp.: Un caso de éxito con <i>Haliotis rufescens</i> en Chile</b>	571-585
<b>Potential for abalone <i>Haliotis</i> spp. pearl production: A case of success with <i>Haliotis rufescens</i> in Chile</b>	
Pedro E. Saucedo, Rubén Araya, Jaime Maturana, Alejandro Rojas-Figueroa	

### **Cultivo de peces**

<b>Inclusión en formulaciones dietarias para tilapia del Nilo de harinas vegetales ricas en ácido <math>\alpha</math>-linolénico y su efecto en el filete</b>	587-599
<b>Inclusion of <math>\alpha</math>-linolenic acid-rich vegetable flours in dietary formulations for Nile tilapia and their effect on fillet</b>	
Waldamann Paula, Prario María, Haran Nora, Pereira Nair	
<b>Obtención y caracterización de hidrolizado proteico de anchoita <i>Engraulis anchoita</i> y su uso en acuicultura</b>	600-615
<b>Obtaining and characterization of anchovy protein hydrolysate <i>Engraulis anchoita</i> for use in aquaculture</b>	
Nair Pereira, Delfina Garbari, Haran Nora	
<b>Identificación molecular de Micobacterias no tuberculosas en Tilapia del Nilo (<i>Oreochomis niloticus</i>) cultivadas en la Amazonía Ecuatoriana</b>	616-638
<b>Molecular identification of nontuberculous mycobacteria in Nile Tilapia (<i>Oreochomis niloticus</i>) cultured in the Ecuadorian Amazon</b>	
Y. Rojas, J. Guarango Veletanga, A. Castro Cevallos, Y. Ledesma, J. H. de Waard	
<b>Evaluación de baños hipersalinos para el control del monogéneo <i>Neobenedenia</i> sp. parásito del pez fuerte (<i>Seriola rivoliana</i>)</b>	639-647
<b>Evaluation of hypersaline baths for the control of the monogenean <i>Neobenedenia</i> sp. parasite of almaco jack (<i>Seriola rivoliana</i>)</b>	
Roxana Bertha Inohuye-Rivera, Juan Carlos Pérez-Urbiola	
<b>Efecto del probiótico <i>Vibrio lentus</i> en el sistema inmune y metabolismo de la lubina (<i>Dicentrarchus labrax</i>)</b>	648-670
<b>Effect of the probiotic <i>Vibrio lentus</i> on the immune system and metabolism of sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>)</b>	
Rocío Valderrama Cortés, Miguel Torres Rodríguez, Iria Folgueira López, Jose F. Cabello Gómez, Raquel Liébana García, Elisabete Bilbao Duque, Juan Antonio Martos Sitcha	



## **Pesca y administración pesquera**

---

- Gestión pesquera basada en ecosistemas para el *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) en Ecuador: un camino hacia la sostenibilidad** 672-688  
**Ecosystem-Based Fisheries Management for *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) in Ecuador: A Path Towards Sustainability**  
Milton Gabriel Montúfar-Romero, Lenin Cáceres-Farias, Sergio Neria, María Mercedes Espinoza-Vera, Carlos Efraín Montúfar Salcedo, Carmen Cabanilla-Carpio
- Caracterización de las actividades productivas de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farias”** 689-699  
**Characterization of the productive activities of the Cooperative Society “Pescadores de Gómez Farias”**  
Aurora Berenice Gutiérrez Cedillo, J. Guadalupe Michel Parra, Oziel Dante Montañez Valdez
- Ocho principios de consideración ética para mejorar la gobernanza ambiental en las zonas costeras** 700-712  
**Eight principles of ethical consideration to improve environmental governance in coastal areas**  
Guillermo Martín Caille, José María Musmeci
- Resultados do IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola: “Participação e inclusão de comunidades tradicionais no processo de extensão”** 713-725  
**Results of the IV Fisheries and Aquaculture Extension Seminar: “Participation and inclusion of traditional communities in the extension process”**  
Adriano Prysthon, Beatriz Mesquita, Micheli Cristina Thomas
- A importância da participação na eleição de problemas prioritários da pesca artesanal no médio Araguaia, Tocantins, Brasil** 726-741  
**The importance of participation in the election of priority problems of artisanal fisheries in the middle Araguaia, Tocantins, Brazil**  
Adriano Prysthon, Andrea Elena Pizarro Munhoz, Roberto Porro, Onivaldo da Rocha Mendes, Fernanda Oliveira Silva, Andrey da Chama Costa
- Acertando o alvo num quarto escuro. A urgência de uma estatística pesqueira contínua e confiável no Brasil** 742-757  
**Hitting the target in a dark room. The urgency of continuous and reliable fishing statistics in Brazil**  
Adriano Prysthon
- Nomes comuns de peixes e implicações nas políticas públicas da pesca artesanal na bacia Tocantins-Araguaia, Brasil** 758-781  
**Fish common names and its effects on public policies of artisanal fisheries in Tocantins-Araguaia basin, Brazil**  
Adriano Prysthon, Marta Eichenberger Ummus
- Tallas comerciales por zona de pesca de huachinango (*Lutjanus peru*) en la región de Bahía de La Paz, Baja California Sur, México** 782-792  
**Commercial size variations of red snapper (*Lutjanus peru*) in the Bay of La Paz region, Baja California Sur, Mexico**  
Mauricio Ramírez-Rodríguez, Víctor M. Silva-Méndez
- Esclerocronología del gasterópodo *Astraea undosa* (Wood 1828), de la pesca en “La Bocana” Baja California Sur, México** 793-819  
**Sclerocronology of the gastropod *Astraea undosa* (Wood 1828), from the fishery in “La Bocana” Baja California Sur, Mexico**  
Saito-Quezada Verónica Mitsui, Salgado-Ugarte Isaías Hazarmabeth, Gluyas-Millán María Georgina

Edad y crecimiento del tiburón azul <i>Prionace glauca</i> (Linnaeus, 1758) en el Pacífico Ecuatoriano: Multimodelos bayesianos	820-843
Age and growth of the blue shark <i>Prionace glauca</i> (Linnaeus, 1758) in the Ecuadorian Pacific: Bayesian multi-models	
Nicole Suárez-Aguilar, María Fernanda Zambrano-Cedeño, Jesús Briones-Mendoza	
Caracterización de los recursos pesqueros de la laguna de Tres Palos, Guerrero, México	844-857
Charectization of the fishery recourses of Laguna Tres Palos, Guerrero, Mexico	
Nidia Farrera-Toledo, Adriana Alatorre-Alba	


### **Sustentabilidad de explotación y acuicultura**

Efecto antioxidante de la astaxantina proveniente del hidrolizado de subproductos de camarón ( <i>Penaeus vannamei</i> ) sobre el estrés en tilapia de Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	858-878
Antioxidant effect of astaxanthin derived from hydrolysate shrimp by-products ( <i>Penaeus vannamei</i> ) on stress in Nile tilapia juveniles ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	
Roxana Pillaca, Jessie Vargas, Verónica Sierralta, Elsa Vega Galarza, Cynthia Guerrero, Iván Soto, Javier Quino-Favero	
Efectos del biosólido de tilapia ( <i>Oreochromis</i> sp.) en la producción del cultivo de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> )	879-908
Effects of tilapia ( <i>Oreochromis</i> sp.) biosolid on the production of cucumber cultivation ( <i>Cucumis sativus</i> )	
José Gabriel Ortega Villamar, Ana Ruth Álvarez Sánchez, Alejandra Soto Estrada	
Aprovechamiento de residuos de la industria del langostino argentino en la elaboración de alimentos balanceados para Tilapia Nilótica: un estudio experimental	909-919
Use of waste from the Argentine shrimp industry in the production of balanced feed for Tilapia Nilotica: an experimental study	
Damián Luis Castellini, Macarena Campins, Nair de los Ángeles Pereira	
Sustitución de harina de pescado por proteína de soya en alimentos para camarón utilizando hidrolizado de krill (OlyPep©) como estimulante del apetito	920-927
Replacement of fishmeal with soybean protein in shrimp feeds using krill protein hydrolysate (OlyPep©) as a taste enhancer	
Julio López Alvarado, Karl Erik Slinning	
Fostering fish welfare for the future of aquaculture sustainability	928-933
Fomentar el bienestar de los peces para el futuro la sostenibilidad de la acuicultura	
Fatimazahra Jouga, Souraya Sakoui, Reda Derdak, Manuel Rey-Méndez, Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi	

### **Tecnología en explotación y cultivo**

Rendimiento en la producción de cinco variedades de tomate cherry ( <i>Solanum lycopersicum</i> ), a partir de los nutrientes aportados por carpas ( <i>Cyprinus carpio</i> ) en un sistema acuapónico	935-949
Performance in the production of five varieties of cherry tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> ), from the nutrients provided by carp ( <i>Cyprinus carpio</i> ) in an aquaponic system	
David C. Casimiro Bonifacio, Aldo J. Alarcón, Romina B. Baggio, Silvana Guerrero, Laura S. López Greco, Andrea D. Tombari	
Ficocoloides y cultivo de macroalgas marinas en Venezuela: una revisión	950-970
Phycocolloids and culture marine macroalgae in Venezuela: a review	
Jorge Barrios-Montilla, Andrés Montes, Josefa Morales	

<b>Conferencias magistrales</b>	
<b>Día 1   Inaugural: Acuicultura y conservación de la naturaleza, tendencias actuales y enfoques innovadores</b>	972
Francois Simard (Asesor de Pesca de la UICN – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).	
<b>Magistral: Los mercados de carbono y su potencial impacto para la pesca y acuicultura</b>	973
Roberto Arosemena Villarreal (NDC Consulting Group, México).	
<b>Día 2   Biodiversidad marina polo a polo de las Américas</b>	974
Enrique Montes (Universidad de Miami CIMAS/NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, USA).	
<b>Día 3   Sustainable contribution of amino acids from animal proteins vs marine proteins for livestock nutrition</b>	975
Charles Starkey (The North American Renderers Association, USA).	
<b>Día 4   Perspectivas globales de la acuicultura en tierra</b>	976
Matt Craze (Spheric Research, Inglaterra).	
<b>Acuicultura: desafíos y oportunidades</b>	
Humberto Villarreal (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – CIBNOR / Presidente de la Asociación Mundial de Acuicultura – WAS, México).	
<b>Día 5   Innovación para asegurar un futuro sostenible de la industria acuícola</b>	977
Alex Obach (Skretting, Noruega).	
<b>Sesiones de trabajo</b>	
<b>Sesión 1   Recursos acuáticos</b>	978
José Alió (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador).	
<b>Sesión 2   Recursos acuáticos Coorganizada con la World Wildlife Fund - WWF - Ecuador</b>	980
WWF: Tarcisio Granizo (Director País, Ecuador).	
<b>Sesión 3   Biodiversidad y acuicultura</b>	981
Ricardo Haroun Tabraue (ULPGC, España).	
<b>Sesión 4   Bioinvasores: Efectos e impactos en América del Sur</b>	982
Gustavo Darrigran (Universidad Nacional de La Plata – CONICET, Argentina).	
<b>Sesión 5   Economía circular y estrategia sostenible</b>	983
Lidia Robaina Robaina (ULPGC, España).	
<b>Sesión 6   Nutrición</b>	984
Daniel Montero Vitores (ULPGC-NARA, España).	
<b>Sesión 7   Simposio sobre el uso de coproductos de origen animal en acuicultura</b>	985
María Teresa Viana (Universidad Autónoma de Baja California, México).	
<b>Sesión 8   Inmunología / Patología</b>	986
Jorge Galindo-Villegas (Nord University / Presidente del International Society of Fish and Shellfish Immunology, ISFSIM, Noruega).	
<b>Sesión 9   Edición de genes y transgénicos en acuicultura</b>	987
Marcos De Donato (The Center for Aquaculture Technologies, México).	
<b>Sesión 10   Camarón <i>Penaues vannamei</i>: Producción y enfermedades en Latinoamérica</b>	988
Juan Manuel Afonso (ULPGC, España).	
<b>Sesión 11   Cooperación Iberoamericana</b>	989
Nieves González-Henríquez (ULPGC, España).	
<b>Posters</b>	991-1069
<b>Videos</b>	1071-1086



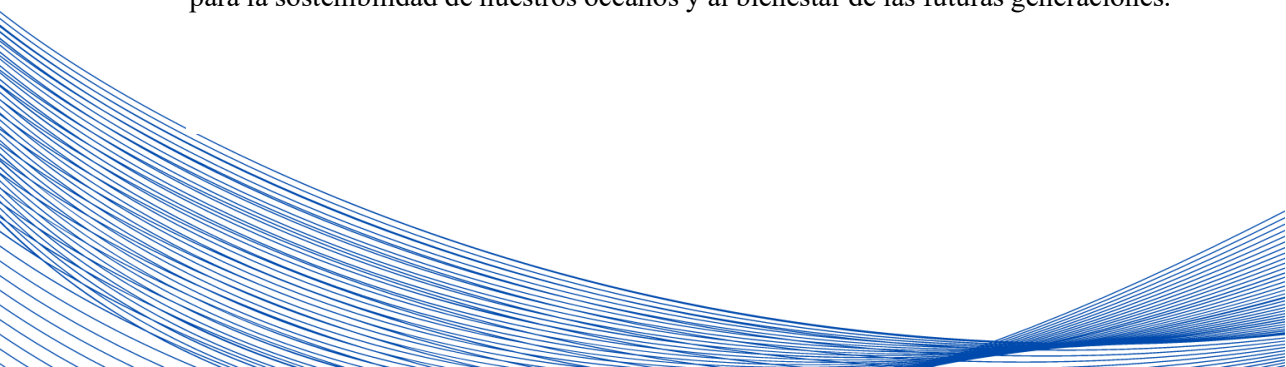
## Por la Sostenibilidad de los Recursos Acuáticos y la Acuicultura en el Marco de la Economía Azul

Es un honor presentar el libro de la XII edición del Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura (XII FIRMA 2023 *on line*), un evento que se ha vuelto trascendental para el estudio y desarrollo de las ciencias acuáticas, logrando congregar a más de 6.000 inscritos, y constituyendo un punto de encuentro crucial para el intercambio de conocimiento y experiencia entre expertos y profesionales de Iberoamérica y todo el mundo, demostrando así el creciente interés y compromiso de la comunidad científica y profesional con la sostenibilidad de nuestros recursos acuáticos y el desarrollo de la acuicultura dentro del marco de la economía azul.

El libro es una compilación de 56 trabajos científicos en extenso, posters y conferencias presentadas durante el foro, ofreciendo un panorama integral de los avances, investigaciones y discusiones que tuvieron lugar en este evento. Los temas abordados van desde la gestión sostenible de los recursos marinos, las innovaciones tecnológicas en la acuicultura, hasta las políticas y estrategias para fomentar una economía azul que sea ambientalmente responsable y económicamente viable.

Sin lugar a duda, el libro es testimonio del esfuerzo colectivo por avanzar hacia una gestión sostenible de los recursos acuáticos y una acuicultura que contribuya positivamente a la economía azul.

Esperamos que el libro no solo sirva como una valiosa fuente de información y referencia para investigadores, estudiantes y profesionales, sino que también motive a la acción y al desarrollo de nuevas iniciativas que contribuyan a políticas de estado para la sostenibilidad de nuestros océanos y al bienestar de las futuras generaciones.



Agradecemos a todos los participantes, ponentes y organizadores por su invaluable contribución y esperamos que las ideas y conocimientos aquí plasmados inspiren futuras investigaciones y acciones concretas.



***Juan Manuel Afonso López***

Directo del Grupo de Investigación en Acuicultura.

Instituto Universitario de Investigación en  
Acuicultura Sostenible y Ecosistemas Marinos.

Universidad de Las Palmas de Gran Canarias

Presidente

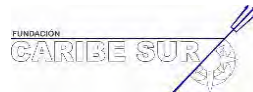
XII FIRMA 2023 online



Auspiciado por



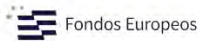








## Patrocinadores



**AQUANOY**  
Portal de Información en Acuicultura

**AquaTechnica**  
La revista científica de Acuicultura  
desde y para Iberoamérica y el mundo

**SEA**  
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE  
ACUICULTURA

 **ALMAR**<sup>®</sup>  
GRUPO ACUÍCOLA

**ipac.**  
acuicultura

 **ECOQUA**  
WWW.ECOQUA.EU

  
**MAR VIVA**

  
**RIMFROST**  
KRILL COLLECTION

**Acuipisca**  
MAGAZINE

**INNOVAQUA**

**illumina**<sup>®</sup>

fundación  
**EMPRESAS POLAR**


  
**AQUANARIA**

  
**INCAR**  
Interdisciplinary Center for  
Aquaculture Research

# Comité Organizador del XII FIRMA 2023 online



**Presidente**

**Juan Manuel Afonso**   
Universidad de Las Palmas de  
Gran Canaria, España




**Vicepresidente-América**

**Marcos De Donato**   
Tecnológico de Monterrey,  
México



**Vicepresidente  
Península Ibérica**

**Nieves González-Henríquez**   
Universidad de Las Palmas de  
Gran Canaria, España




**Presidente A.C. ForoAcui**

**Manuel Rey-Méndez**   
Universidad Santiago de  
Compostela, España



**Secretario**

**Edgar Zapatas-Vívenes**   
Universidad Técnica de Manabí,  
Ecuador




**Coordinador  
Académico**

**Paul Baltazar**   
Universidad Científica del Sur,  
Perú




**Coordinador  
Académico**

**José Javier Alió Mingo**   
Escuela Superior Politécnica  
Agropecuaria de Manabí Manuel  
Félix López, Ecuador



**Coordinador General  
FIRMAs**

**César Lodeiros**   
Universidad Técnica de Manabí,  
Ecuador

## Vocales Iberoamericanas



### **Argentina**

*Tamara Rubilar* | Centro para el estudio de sistemas Marinos, CONICET/Instituto patagónico del Mar-UNPSJB



### **Brasil**

*Guilherme Rupp* | EPAGRI

*Antonio Icaro Gomes* | Universidade Estadual do Maranhão



### **Chile**

*Cristian Bulboa Contador* / Universidad Andrés Bello

*Jormil Esteban Revilla* / FIGEMA-UCN

*Meyling Tang* / Fundación COCINAMAR y Tres Peces



### **Colombia**

*Adriana Rodríguez Forero* / Universidad de Magdalena

*Jorge Cuéllar-Anjel* | Global Consulting

*Paola Barato* / Corporación Patología Veterinaria



### **Costa Rica**

*Juan José Valverde* / Instituto Nacional del Aprendizaje



### **Cuba**

*Gustavo Arencibia-Carballo* / Centro de Investigaciones Pesqueras



### **Ecuador**

*Jorge Sonnenholzner* / Universidad Técnica de Manabí

*Juan José Bernal* / Universidad Técnica de Manabí

*Mauro Nirchio* / Universidad Técnica de Machala

*Pilar Solís-Coello* / IPIAP

*Wilfrido Argüello* / CENAIM-ESPOL



## **España**

*Juan Miguel Mancera* | Universidad de Cádiz / Sociedad Española de Acuicultura

*Javier Ojeda González-Posada* / Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR).

*Patricia Prado* / Instituto para la Investigación y Tecnología, Agroalimentarias de Cataluña

*Salvador Cárdenas* / Sociedad Española de Acuicultura



## **Guatemala**

*Dora Carolina Marroquín Mora* | Universidad de San Carlos de Guatemala



## **México**

*Alfonso N. Maeda Martínez* | Unidad Nayarit Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

*Alejandra Torres Ariño* / Universidad del Mar

*Alexander Varela Mejías* / Instituto Tecnológico de Sonora

*Sonia Araceli Soto Rodríguez* / Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Mazatlán



## **Panamá**

*Juan Posada* / Fundación Marviva

*Zedna Ibis Guerra* / Estación Maricultura del Pacífico, Autoridad de los Recursos Acuáticos

*Juan Antonio Gómez H.* / Universidad de Panamá



## **Perú**

*Christian Berger* / Universidad Científica del Sur

*Gina Armas de Conroy* / CONROY CONSULTING SRL

*Enrique Melgar Lozano* / Proacuicultura

*Lessi Catacora* / Gobierno Regional de Moquegua

*Milthon Luján Monja* / Revista Aquahoy

*Tulio Merino Regalado* / Sociedad Nacional de Acuicultura



## **Portugal**

*Pedro Fernandes Seixas* / Aqualgae

*Manuela Vaz Velho* / Instituto Politécnico de Viana do Castelo



## **República Dominicana**

*Miguel Guevara* / Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña



## **Uruguay**

*Alvar Carranza* / Centro Universitario Regional Este - CURE, Universidad de la República



## **Venezuela**

*Carlos Carmona Suárez* / Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)

*Eduardo Castillo* / Presidente de la Sociedad Venezolana de Acuicultura (SVA)

*Fernando Villamizar* / Asociación de Productores de Camarones de Occidente

*Luis González* / Instituto Nacional de Espacios Acuáticos -Falcón

## **Corresponsales en otras regiones**



## **USA**

*Sergio Nates* / Feedsagrisolutions

*Víctor Blanco* / Universidad de Florida

## **Europa no Iberoamericana**

*Lucio Grassia* / LANTERN-NET.COM

*Jorge Galindo-Villegas* / Nord University, Norway

*Juana Jiménez Alcántara* / VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE (VLIZ)  
– Bélgica

## **Asia**

*José Ignacio Curiel* / Megassuply


*José Ávila Peltroche* / Chosun University – Corea

## **África**

*Bouchra Elkhalfi*, / Universidad Hassan II de Casablanca – Marruecos

Apoyo logístico del  
XII FIRMA 2023 online




**Hectorina Rodulfo**   
Tecnológico de Monterrey,  
México  
Coordinadora de las  
Videoconferencias



**Grace De Donato**  
*Community Manager*  
Italia



**Marycruz García-González**   
Universidad de Oriente,  
Venezuela  
Edición Digital



**Víctor Cabezuelo García**  
Universidad de Oriente,  
Venezuela  
*Webmaster*

Operadores de la plataforma  
de videoconferencias



**Ecuador** | *Daysi Camacho Castillo, Marcos Cabrera*



**México** | *Viridiana Obregon, Victoria Marcano, Daniela Luis*



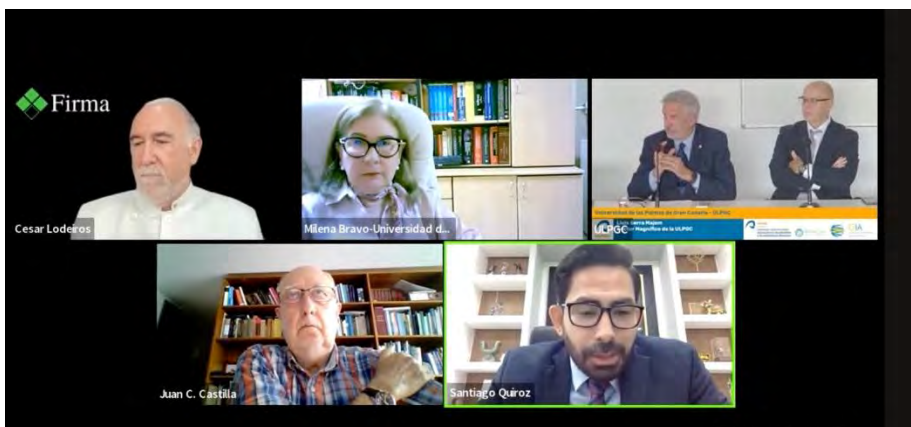
## Conclusiones

El XII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura, XII FIRMA 2023 online, se desarrolló del 27 de noviembre al 1 de diciembre 2023, cuyos alcances generales fueron:

- \* Capacitación de unas 280 personas en 14 cursos pre-congreso
- \* Inscripción de unos 6.000 participantes
- \* Un total de 12.376 usuarios diferentes de 68 países, que interactuaron con la página en 208.527 ocasiones desde su creación 90 días atrás. Durante los 5 días del evento, la página tuvo 85.298 visualizaciones.
- \* Las conferencias fueron desarrolladas con más de 66 especialistas, entre ellas la conferencia inaugural, 6 conferencias magistrales, 2 conferencias de sobremesas con especialistas en el espacio “hablando con el experto” y 11 sesiones de elevada pertinencia con 45 ponencias. Además, se incluyó una ponencia co-organizada por la Sociedad Española de Acuicultura.
- \* Se presentaron 218 trabajos científicos en formato e-pósteres y videos, muchos de elevada calidad y pertinencia, lo que hizo difícil la selección de los 3 ganadores y las 3 menciones honoríficas (ver más adelante).
- \* Se realizó un concurso fotográfico en temas de recursos acuáticos y la acuicultura, con 73 participantes y 196 fotos concursando, premiándose a tres primeros lugares y 3 fotografías con mención de honor (ver más adelante).

La inauguración del XII FIRMA 2023 online contó con la presencia del Dr. Antonio López Díaz, Rector Universidad de Santiago de Compostela (USC), además de los rectores de la Universidad de Oriente-Venezuela (UDO), la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador (UTM) y la Universidad de Las Palmas Gran Canaria (ULPGC), así como del Presidente de la *World Aquaculture Society* y el Director Pesca y Acuicultura de la FAO, en un escenario de reconocimiento FIRMA a la investigación, conservación y sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura al Dr. Juan Carlos Castilla-Pontifica Universidad Católica de Chile; aparte de ello, se desarrolló la conferencia inaugural del Dr. Francois Simard, Asesor de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza sobre “La Acuicultura y conservación de la naturaleza, tendencias actuales

y enfoques innovadores”. El presidente del XII FIRMA fue el Dr. Juan Manuel Afonso (ULPGC). Esta actividad puede ser visualizada en el siguiente enlace:



El éxito del FIRMA ha ido en ascenso, consagrándose actualmente como el evento iberoamericano *online* más grande e importante sobre recursos acuáticos y la acuicultura, el cual es una verdadera ventana *open access* al alcance de todos, para acceder a información pertinente para la sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura, y lo más importante es que es un repositorio de dicha información de por siempre. Creemos, fehacientemente, que estos logros van en función del desarrollo de los países iberoamericanos y el mundo, por lo cual estamos muy orgullosos.

  
Firma  
Una Organización de las Naciones Unidas  


César Lodeiros  
Coordinador General FIRMAs  
Universidad Técnica de Manabí

## Mejores trabajos científicos

Dado el número de trabajos presentados, y la elevada calidad de los mismos, los jurados representados por especialistas de las diferentes áreas tuvieron una gran tarea, la cual se extendió en más de un mes de evaluación posterior al XII FIRMA 2023 online, los trabajos ganadores fueron:

**Primer Lugar | Impacto del estrés térmico materno y el tiempo de exposición sobre el desempeño del sistema antioxidante y la fisiología energética de juveniles de *Octopus maya* sujetos a fluctuaciones térmicas**

Alejandra Plata-Díaz, Carlos Rosas Vázquez, Maite Mascaró, Gabriela Rodríguez-Fuentes



**XII FIRMA  
2023 online**

del 27 de noviembre al 07 de diciembre de 2023

**Impacto del estrés térmico materno y el tiempo de exposición sobre el desempeño del sistema antioxidante y la fisiología energética de juveniles de *Octopus maya* sujetos a fluctuaciones térmicas**

Alejandra Plata-Díaz<sup>1</sup>, Carlos Rosas Vázquez<sup>2</sup>, Maite Mascaró<sup>3</sup>, Gabriela Rodríguez-Fuentes<sup>4</sup>



**INTRODUCCIÓN**

Estudios previos han demostrado que el estrés térmico materno en *Octopus maya* altera la fisiología energética y el sistema de defensa antioxidante de su progenie cuando estos son

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
<sup>4</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
E-mail: ale.plata.diaz92@gmail.com

## Segundo Lugar | Caracterización de bacteriófagos contra bacterias del género *Vibrio* causantes de mortalidades en estanques de camarón

Kívely Yajaira Lozano y Torres, Roberto Bastías Romo, Eduardo Quiroz Guzmán



### Caracterización de bacteriófagos que infectan bacterias del género *Vibrio* causantes de mortalidades en camarones.

**Kívely Lozano** <sup>1</sup>, **Roberto Bastías** <sup>1</sup>, **Eduardo Quiroz** <sup>2</sup>.

(1) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso., Laboratorio de Microbiología, Instituto de Biología, Curanipe-Valparaíso, Chile.

(2) CONACYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

# Tercer Lugar | Factibilidad del cultivo de la ostra manabita *Crassostrea* sp. bajo condiciones de cultivo suspendido

Elizabeth Fernanda Ati Sánchez, Yuber Adrián Añazco Correa, Patricia Aguilar Román, César Lodeiros

## FACTIBILIDAD DEL CULTIVO DE LA OSTRA MANABITA *Crassostrea* sp. BAJO CONDICIONES DE CULTIVO SUSPENDIDO



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
MANABÍ  
Fundada en 1952

Elizabeth Ati, Yuber Añazco, Patricia Aguilar-Román, César Lodeiros

Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos,

Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



FACM  
FACULTAD DE  
ACUICULTURA Y  
CIENCIAS DEL MAR  
Extensión Sucre

**Introducción:** En el estuario del Río Chone, provincia de Manabí, Ecuador, existen formaciones de bancos naturales de una ostra del género *Crassostrea* (Fig. 1), la cual es sustraída por habitantes de las comunidades costeras para su consumo o comercialización, mostrando ser una especie muy aceptada en el mercado nacional; por lo que se plantean varios estudios para cultivarla. A la ostra manabita se le han realizado estudios morfológicos y moleculares para su identificación; sin embargo, no se ha definido la especie, por lo que se sugiere que no tiene registros en los bancos genéticos disponibles, y/o es una especie nueva para la ciencia (Lodeiros et al. 2020). Existen ciertos rasgos de la concha con similitud a *Crassostrea corteziensis*, por lo que se le ha considerado como *Crassostrea* cf. *corteziensis* (Panta-Vélez et al. 2020).

**Materiales y métodos:** Se evaluó la supervivencia y el crecimiento de la ostra bajo condiciones de cultivo suspendido en Bahía de Caráquez, estuario del Río Chone, durante el periodo de julio 2022-enero 2023 (7 meses), utilizando semillas de los bancos naturales, con tallas iniciales de 35 mm. El cultivo se estableció en linternas (50 ostras/piso) e intrasemanalmente se registraron la salinidad, transparencia y microalgas, así como la temperatura con registros cada 5 min, utilizando un termógrafo electrónico. Los análisis estadísticos fueron desarrollados con un t-student entre muestreos a un nivel de significación de  $P=0.05$ .

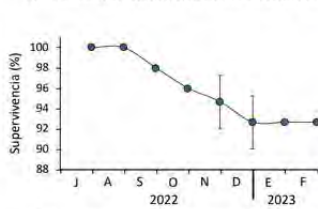


Figura 2. Supervivencia (%) de la ostra manabita *Crassostrea* sp. bajo condiciones de cultivo suspendido en Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador.

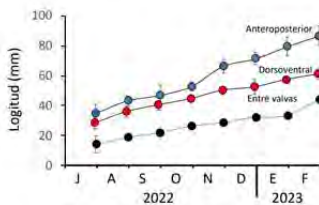


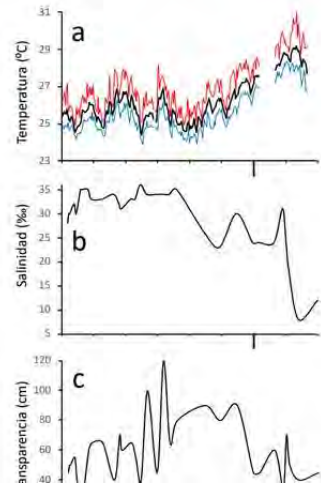
Figura 3. Longitudes anteroposterior, dorsoventral y entre valvas de la ostra manabita *Crassostrea* sp. bajo condiciones de cultivo suspendido en Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador.



Fig. 1. Características externas e internas de la ostra manabita *Crassostrea* sp.

**Resultados:** La supervivencia acumulada fue de  $92.6 \pm 2.62\%$  (Fig. 2). El crecimiento en dimensión de la concha fue continuo, con un aumento particular en noviembre 2022, obteniendo, al final del estudio, organismos de  $86.7 \pm 6.68$  mm (antero-posterior; Fig. 2) con masas de la concha de  $110.7 \pm 19.04$  g (Fig. 3a); este comportamiento fue similar al de los tejidos, excepto para febrero 2023, donde no aconteció incrementos significativos (Fig. 3b). Al final del estudio las masa del tejido total fue de  $2.9 \pm 0.67$ g. Los factores ambientales no presentaron correlatividad con las curvas de crecimiento; sin embargo, en febrero 2023, la disminución de masas estuvo asociada con un aumento de la temperatura (Fig. 5a), y una disminución de la salinidad (Fig. 5b) y la concentración de microalgas (Fig. 6).

**Discusión:** El cultivo se desarrolló durante el periodo seco y a principios del invierno en febrero 2023 cuando



## Mención Honorífica | Modificación de la microbiota intestinal del pez modelo (*Danio rerio*) por efecto de tres probióticos autóctonos de Patagonia

María Elisabeth Garcés, Cynthia Sequeiros, Magali Marcos, Nena Lila Oliveira, Mariano Moris



DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

POR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS Y LA ACUICULTURA

# MODIFICACIÓN DE LA MICROBIOTA INTESTINAL DEL PEZ MODELO (*Danio rerio*) POR EFECTO DE TRES PROBIÓTICOS AUTÓCTONOS DE PATAGONIA

Garcés, M.E.<sup>1</sup>, Marcos, M.<sup>2</sup> Olivera, N.L.<sup>2</sup>, Moris, M.<sup>3</sup>, Sequeiros, C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CESIMAR CCT CONICET-CENPAT. Pto. Madryn, Chubut, Argentina.

<sup>2</sup>IPEEC CCT CONICET-CENPAT. Pto. Madryn, Chubut, Argentina.

<sup>3</sup>CCT CONICET-CENPAT. Pto. Madryn, Chubut, Argentina.

garces\_marie@yahoo.com.ar

## INTRODUCCIÓN

### ACUICULTURA SUSTENTABLE



Los probióticos son cada día más utilizados en acuicultura para mejorar las condiciones de los organismos cultivados debido a que inhiben patógenos oportunistas, estimulan la función digestiva y mejoran el sistema inmune. Estos beneficios son impulsados, en gran medida, por la modulación de la microbiota intestinal, favoreciendo el desarrollo de una acuicultura ecológicamente más sustentable.

El **objetivo** de este estudio fue evaluar el efecto de tres

## Mención Honorífica | Efecto de la temperatura y la salinidad en huevos y embriones de *Octopus insularis*

Fernando Ariel Rodríguez Reyes, Roberto González Gómez, César Meiners Mandujano, Piedad S. Morillo Velarde, Maite Mascaró



Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

de la sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura

### EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA SALINIDAD EN HUEVOS Y EMBRIONES DE *OCTOPUS INSULARIS*.

Rodríguez-Reyes, Fernando<sup>1</sup>, González-Gómez, Roberto<sup>1,2</sup>, Meiners Mandujano, César<sup>1</sup>, Mascaró, Maite<sup>3</sup>, S. Morillo-Velarde, Piedad<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana.

<sup>2</sup>Centro Oceanográfico de Murcia (COMU-IEO), CSIC, Murcia, España.

<sup>3</sup>Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación - Sisal, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

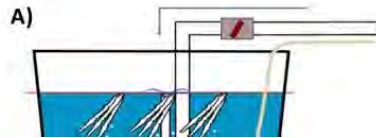
E-mail: [arielr95@gmail.com](mailto:arielr95@gmail.com)

#### INTRODUCCIÓN

*Octopus insularis* ha sido reconocida como la especie dominante en las pesquerías del suroeste del Golfo de México, lo cual supone una nueva oportunidad de cultivo de pulpo para la región. El desarrollo de los cefalópodos se encuentra influenciado por variables ambientales como la temperatura y la salinidad, sin embargo, se desconocen los efectos que tienen estos factores en las primera etapas del desarrollo embrionario de *O. insularis*.

#### MATERIAL Y MÉTODOS

Se incubaron artificialmente 54 cordones de huevos de *O. insularis* a temperaturas (Fig. 1A) de 26 (T26), 28 (T28) y 30 °C (T30)



# Mención Honorífica | Efecto de la harina de grillo sobre el crecimiento y supervivencia de postlarvas de camarón *Penaeus vannamei* en raceway

Galo Alexander Cedeño Zambrano, Marjorie Armenia Idrovo Vishuete, Rodolfo Patricio Panta Vélez, Juan José Bernal Zambrano, Isea León Fernando Ramón



Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

Por la sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura

## EFECTO DE LA HARINA DE GRILLO SOBRE EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE POSTLARVAS DE CAMARÓN *Penaeus vannamei* EN RACEWAY

Galo Alexander Cedeño Zambrano, Marjorie Armenia Idrovo Vishuete, Rodolfo Patricio Panta Vélez, Juan José Bernal Zambrano, Isea León Fernando Ramón

Grupo de Investigación de Nutrición y Alimentación Acuicola (GINAA), Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables (DAPRR), Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar (FACM), Universidad Técnica de Manabí (UTM). Provincia de Manabí, Bahía de Caráquez, Ecuador.

E-mail: [gcedeno2416@utm.edu.ec](mailto:gcedeno2416@utm.edu.ec)

### INTRODUCCIÓN



### METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Precria de Organismos Acuáticos (Sala A), FACM, UTM.





## Concurso fotográfico III PhotoFIRMA

Con el objetivo de captar en imágenes el maravilloso mundo de los recursos acuáticos y la acuicultura, se organizó el III concurso fotográfico FIRMA, III *PhotoFIRMA*, incentivando a los participantes del XII FIRMA 2023 online. Las fotos servirán para nuestra galería FIRMA y algunas con conceptos de acuicultura serán escogidas para las portadas de la revista científica *AquaTechnica*, revista asociada al FIRMA.



Se recibieron unas 196 fotografías de 73 participantes, siendo seleccionadas por una decena de especialistas y resultando ganadoras las siguientes fotografías:

Primer lugar  
*Buzo artesanal revisando cultivo de bivaldos*  
Cristian Andrés Sepulveda Cortes



En Caleta Cascabeles los pescadores artesanales están aprendiendo del cultivo en áreas de manejo. En primavera, en la compañía de medusas, se realizan las labores de reflote del *long line*, muestreo del ostión del norte y programación de la cosecha.

Segundo lugar  
*Una danza en el abismo*  
Judith Camps Castella



Las medusas, las grandes temidas y las más desconocidas por la sociedad general. En esta imagen podemos ver la especie *Pelagia nocticula*, con su fascinante color y su asombrosa habilidad de iluminar en la oscuridad ya que posee bioluminiscencia. Posee una belleza efímera, así es por el poco tiempo que aparece en las costas cada año. Como toda especie tiene su ciclo de vida y su movimiento, y es más fácil observarla en verano. La fotografía fue tomada con una Olympus tg5, sin flash ni iluminación externa.

Tercer lugar  
*Una madre abnegada*  
Ángel Rafael Fariña Pestano



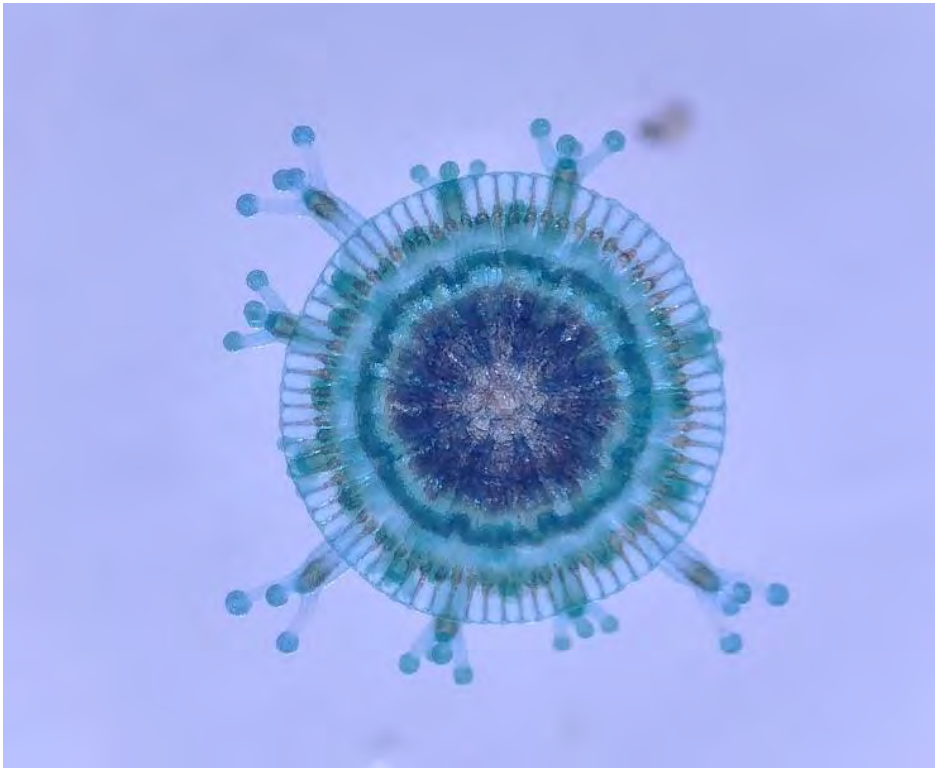
Esta hembra de pulpo pigmeo del Atlántico, *Octopus joubini*, hace uso de la concha del bivalvo muerto *Globivenus rigida*, para poner sus huevos y cuidarlos hasta la eclosión, posterior a lo cual muere. En el caso de que el molusco no haya sido eliminado por el propio pulpo, nos encontramos en presencia de un fenómeno conocido como tanatocresis. Los estudios sobre reproducción y desarrollo embrionario de pulpos revisten fundamental importancia en el campo de la acuicultura.

Mención honorífica  
*Refugio*  
Franklin Jara Tomalá



Los cultivos de moluscos a menudo crean hábitad artificiales que atraen a diversas especies marinas en busca de refugio y alimentos, un ejemplo claro, el cultivo de ostras en la Comuna Palmar, península de Santa Elena-Ecuador, en la que se han encontrado especies muy particulares, entre las que se destaca la almeja pluma del pacífico (*Limaria pacifica*) este precioso molusco puede mostrar partes de sus tejidos fuera de su concha con tentáculos que asemejan a una anémona, así mismo se ha observado un camarón barril (*Gnathophyllum panamense*), este camarón muy llamativo por su coloración negra con lunares blancos y naranjas; estas especies son alucinantes, no solo por su aspecto, si no por ser pocas veces vistas, pero que se las ha encontrado en la fauna acompañante del cultivo de ostras; con la finalidad de apreciarlas se las ha preservado en una pecera que nos permitió contemplar su belleza.

Mención honorífica  
*Botón azul (Porpita sp.) en playas ecuatorianas*  
**Samira Reinoso**



El botón azul es un hidrozoo colonial, es decir, está formado por una colonia de individuos llamados zooides que trabajan juntos como una unidad funcional. Pertenece al neuston del medio marino, es decir, flota en la superficie del océano y es arrastrada por las corrientes. Se encuentra en aguas tropicales y subtropicales y se alimenta de medusas venenosas. Este organismo es parte de la biodiversidad marina y representa un recurso marino importante ya que es esencial para mantener la salud de los ecosistemas marinos y aporta en la biodiversidad global, pues, cada especie desempeña un papel único en el equilibrio de los ecosistemas marinos. Esta fotografía fue tomada el 12 de mayo del 2018 en un estereomicroscopio en el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM-ESPOL), a partir de organismos recolectados en la playa de San Pedro-Santa Elena, Ecuador.

Mención honorífica  
*La hora del silencio*  
Mailuet Vanessa López Gómez



En la madrugada donde perdura el silencio, los peces dulceacuícolas realizan su ruta migratoria hacia las áreas de reproducción, momento que aprovechan los pescadores, quienes esperan pacientes para lanzar sus redes con el fin de capturar las diferentes especies que van realizando esta larga travesía.



XII Firma  
2023 online



# Biodiversidad, conservación y evaluación de recursos



# Primer reporte del bagre marino *Genidens barbatus* (Lacepede, 1803), Siluriformes, Ariidae en la bahía de Puerto San Julián, Santa Cruz, Argentina

First report of the marine catfish *Genidens barbatus*, Siluriformes, Ariidae in the bay of Puerto San Julián, Santa Cruz, Argentina

María González Dubox<sup>1,2,3</sup>, Romina Baggio<sup>1,2</sup>,  
Aime Funes<sup>1,2</sup>, Laura López Greco<sup>3</sup>,  
Andrea Tombari<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica,  
Don Bosco y Leloir, PC 8500AEC Viedma, Río Negro, Argentina

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Transferencia Río Negro (CONICET-UNRN),  
PC 8500AEC Viedma, Río Negro, Argentina

<sup>3</sup>Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA, UBA-  
CONICET) - Laboratorio de Biología de la Reproducción y el Crecimiento de  
Crustáceos Decápodos, Departamento de Biodiversidad y  
Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria,  
C1428EGA - Buenos Aires, Argentina

María González Dubox   mceciliagd@gmail.com

Palabras clave |  
Distribución,  
Migración,  
Patagonia Sur,  
bagre marino.

**RESUMEN** | El bagre marino *Genidens barbatus* (Siluriformes, Ariidae) es una especie de gran importancia comercial en el sur de Brasil y la región Parano-platense. Se distribuye desde Río de Janeiro, Brasil, hasta el estuario del Río Negro e incluso en el estuario de río Chubut, Chubut, Argentina. Ocasionalmente ha sido registrada en la Patagonia austral. En este trabajo se reporta la presencia de la especie en la bahía Puerto San Julián, Santa Cruz, Argentina. La identificación taxonómica de los ejemplares fue sustentada mediante caracteres morfológicos. La presencia de esta especie en territorios australes plantea incógnitas y motiva a realizar nuevos estudios sobre su dinámica y hábitos migratorios.

Keywords |  
Distribution,  
migration,  
south Patagonia,  
catfish

ABSTRACT | The marine catfish *Genidens barbatus* (Siluriformes, Ariidae) is a large species of commercial importance in the south of Brazil and the Parano-platense region. It is distributed from Rio de Janeiro, Brazil, to the Rio Negro estuary and even in the Chubut River estuary, Chubut, Argentina. It has occasionally been reported in southern Patagonia. This work reports the presence of this species in the Puerto San Julián bay, Santa Cruz, Argentina. Taxonomic identification was supported using morphological characters. The presence of this species in southern territories raises unknowns and motivates us to carry out new studies on their dynamics and migratory habits.

## INTRODUCCIÓN

*Genidens barbatus* (Lacepède, 1803) es una especie de gran importancia para la pesca comercial y recreativa en Argentina, Uruguay y Brasil (Tavares y Luque, 2004; Velasco et al., 2007; Silva Junior et al., 2013; Vontobel, 2022). Este siluriforme, perteneciente a la familia Ariidae, presenta una amplia distribución geográfica, encontrándose tanto en regiones tropicales como templadas (Figueiredo y Menezes, 1978). Se distribuye desde Río de Janeiro, Brasil (Figueiredo y Menezes, 1978; Marceniuk, 2005; Marceniuk 2007) hasta el estuario del Río Negro (Mac Donagh 1936; Tombari et al., 2019; Avigliano et al., 2020) e incluso en la provincia de Chubut (Funes et al., 2019). Asimismo, existen dos registros más australes en los que se los describe como especie ocasional: uno corresponde al sur de Chile, en la región oriental del Estrecho de Magallanes (Sielfeld, 1979) y el otro al estuario de Río Gallegos, Santa Cruz (Caille et al., 1995).

Es una especie migratoria y anádroma (Reis 1986; Tavares y Luque 2004; Velasco et al., 2007; Avigliano et al., 2017a, 2021). Los estudios en química de otolitos han demostrado la presencia de diferentes stocks a lo largo de su distribución, con una fuerte dependencia geográfica reproductiva sobre estuarios y ríos (Avigliano et al., 2015; 2016; 2019a 2019b), desplazándose río arriba hasta 500 km con fines reproductivos (Liotta, 2005). También se han observado distintos corredores migratorios en Argentina y Uruguay, en los que se desplaza la especie,

como dentro del Delta del Río Paraná (Liotta, 2005; Cappato y Yanosky, 2009; Avigliano *et al.*, 2015). Aún se desconoce con exactitud el patrón migratorio de la especie en el extremo sur de su distribución, pero se ha sugerido que la población de Río Negro presenta patrones migratorios relacionados con la alimentación (Avigliano *et al.*, 2021).

El conocimiento de la dinámica poblacional y de los patrones reproductivos de las especies marinas de importancia comercial, constituyen una herramienta clave para el manejo de su explotación (Sar *et al.*, 2018; Avigliano, 2016). Especialmente tratándose de especies como *G. barbuis*, que presenta un ciclo de vida largo, madurez sexual tardía e incubación oral de los huevos por parte de los machos (Reis, 1982; Araújo, 1988) y atraviesa grandes costos energéticos quedando vulnerable a la explotación (Mendonça, 2017). En este contexto, el objetivo de este trabajo es informar la presencia austral de *G. barbuis* y el primer reporte de la especie en la bahía San Julián, Santa Cruz, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Bahía San Julián se encuentra ubicada en la costa central de la provincia de Santa Cruz (Patagonia, Argentina), entre los 68°50' 01" S; 67°35' 50" W y 49°00' 12" S; 49°47' 02" W (Fig. 1). Constituye una albufera con una amplia llanura de fango intermareal, una densa red de canales de marea muy ramificada (Panza *et al.*, 1994) y el aporte de agua dulce de los ríos Paraguay y Sam (Ginestar *et al.*, 2020). Tiene una extensión de 20 km de largo y 8,8 km de ancho máximo, una profundidad máxima de 35 m y una boca relativamente estrecha, de aproximadamente 700 m de ancho (Sar *et al.*, 2018). Las mareas son de tipo macromareal semidiurno y su amplitud oscila entre los 6 m y 9 m (Martin *et al.*, 2015; Ginestar *et al.*, 2020). Se destacan las amplias planicies de mareas, playas, cordones litorales y acantilados, entre otros. Recibe aguas frías de origen subantártico y otras de relativamente baja salinidad de la Corriente de la Costa Patagónica, ramal de la Corriente de Malvinas (Martin *et al.*, 2015). La salinidad del agua dentro de la Bahía está entre 33 y 34 ppm y las temperaturas varían entre 5°C (invierno) y 14°C (verano) (Martin *et al.*, 2015; Sar *et al.*, 2018). En la región,

domina el clima templado frío y semiárido con precipitaciones que se concentran preferentemente en el período invernal con una media anual de alrededor de 200 mm (Soto, 2004).



Figura 1. Bahía puerto San Julián. Se indica el sitio de pesca con un punto rojo.

### Captura de los ejemplares

En marzo de 2023 en la bahía San Julián, un pescador local capturó ejemplares de *G. barbatus*, en el sector de pesca deportiva denominado “pozones” (49° 19' 56.273" S; 67° 43' 50.462" W) (Figura 2). Las capturas se realizaron con caña operada a una distancia de 40 m desde la costa, utilizando *Urechis chilensis* (“Pinuca”) como carnada, en bajamar, momento en que se evidencian los canales marinos dentro de la bahía. Se registró la longitud total (LT) en cm de todos los ejemplares capturados (n=10). Para la determinación de la especie se utilizaron los caracteres morfológicos: (1) procesos laterales de urohial corto, (2) porción posterior del segundo basibranchial corta, (3) porción posteroventral del opérculo poco pronunciada posteriormente, (4) proceso dorsal de la placa dentaria faríngea y (5) las barbillas maxilares más claras y más nítidas en base a: Sielfeld (1979), Marceniuk (2005), Marceniuk y Menezes (2007) y Marceniuk et al. (2023).

## RESULTADOS

Las tallas totales (TT) de los 10 individuos se detallan en la Tabla 1. El intervalo de tallas varió entre los 25 cm y los 40 cm, siendo 25 cm ( $\pm 0,5$ ) la talla registrada en 9 individuos, correspondientes a individuos juveniles (Velasco *et al.*, 2007). Un solo individuo presentó una talla de 40 cm (Fig. 2) correspondiendo a un adulto reproductivo. Los 10 ejemplares fueron identificados como *Genidens barbatus*.

Tabla 1. Talla total (TT) de los individuos de *Genidens barbatus* capturados,

Individuos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TT (cm)	40	25	25,5	24,5	25	25,6	25,3	25	24,8	25,5



Figura 2. Ejemplar de *Genidens barbatus* (Escala: 5 cm)

## DISCUSIÓN

Los individuos de la especie *G. barbus* realizan migraciones anuales entre ambientes con diferentes salinidades desde su primer año de vida (Araújo, 1988; Avigliano et al., 2017). Se han reconocido 3 patrones migratorios por medio de estudios de la química de los otolitos (Avigliano et al., 2017) y posteriormente se ha demostrado que la población de Río Negro pertenece al grupo de patrón tipo "A". Este se define como el tipo de peces cuya "firma" Sr/Ca<sup>2+</sup> en otolitos al comienzo de su vida, es compatible con el uso de agua dulce y se desplaza al menos una vez a un ambiente marino. Avigliano et al. (2017) también concluyeron que los bagres de Río Negro no presentan el patrón de residencia en agua dulce y podrían estar realizando migraciones de alimentación más que de reproducción.

En este caso, el hallazgo fue de individuos de más de 25 cm talla correspondiente al estado juvenil (Velasco et al., 2007), considerando que la madurez sexual en esta especie se alcanza a los 8,5/9 años con una talla mínima de 40 cm (Reis, 1986; Velasco et al., 2007). Esto podría indicar que efectivamente y por su talla estos animales podrían estar haciendo migraciones de alimentación (Avigliano et al., 2021). La valoración de los contenidos estomacales y la verificación de los estadios gonadales de los ejemplares constituiría una herramienta para definir con mayor certeza las actividades que realiza en estas zonas al límite sur de su distribución.

## CONCLUSIONES

Consideramos importante incluir el contexto de cambio climático a nivel local y global en el que la salinidad y temperatura se modifican bruscamente (Odebrecht et al., 2013; Fontoura et al., 2016; Gasalla et al., 2017) afectando a las especies migradoras que están expuestas a grandes presiones ambientales y fisiológicas (Landsman et al., 2011; Duponchelle et al., 2021). Asimismo, la presencia de la especie a estas latitudes podría indicar un nuevo corredor migratorio reproductivo en las áreas patagónicas australes que requiere mayor información. Se refuerza la necesidad de estudiar las dinámicas poblacionales y

ecológicas para llevar a cabo una buena gestión sostenible de nuestros recursos icticos (Lindegren y Brander, 2018).

## Agradecimientos

A los proyectos que hicieron posible llevar adelante los trabajos de investigación: PICT 2020-0332 y PI 40-C-1065. Al Dr. Santiago Torres y al Sr. Sebastián Riquelme por brindarnos información relevante para este trabajo.

## REFERENCIAS

- Araujo, F. G. (1988). Distribuição, abundância relativa e movimentos sazonais de bagres marinhos no estuário da Lagoa dos Patos. *Revista Brasileira Zoologia*, 5(4), 509-543.
- Avigliano, E., Volpedo, A. V. (2015). New records of anadromous catfish *Genidens barbuis* (Lacépède, 1803) in the Paraná Delta (South America): evidence of extension in the migration corridor? *Mar Biodivers Rec.*, 8, 1–3. <http://dx.doi.org/10.1017/S175526721400147X>.
- Avigliano, E., Carvalho, B., Velasco, G., Tripodi, P., Vianna, M. and Volpedo, A. V. (2016). Nursery areas and connectivity of the adults anadromous catfish (*Genidens barbuis*) revealed by otolith-core microchemistry in the south-western Atlantic Ocean. *Marine and Freshwater Research*, 68(5), 931-940.
- Avigliano, E., Leisen, M., Romero, R., Carvalho, B., Velasco, G., Vianna, M., Volpedo, A. V. (2017a). Fluvio-marine travelers from South America: cyclic amphidromy and freshwater residency, typical behaviors in *Genidens barbuis* inferred by otolith chemistry. *Fisheries Research*, 193, 184-194.
- Avigliano, E., de Carvalho, B. M., Leisen, M., Romero, R., Velasco, G., Vianna, M., ... & Volpedo, A. V. (2017b) Otolith edge fingerprints as approach for stock identification of *Genidens barbuis*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 194, 92-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.06.008>.

- Avigliano, E., Monferrán, M. V., Sánchez, S., Wunderlin, D. A., Gastaminza, J., & Volpedo, A. V. (2019a). Distribution and bioaccumulation of 12 trace elements in water, sediment and tissues of the main fishery from different environments of the La Plata basin (South America): Risk assessment for human consumption. *Chemosphere*, 236, 124394.
- Avigliano, E., de Carvalho, B. M., Miller, N., Gironde, S. C., Tombari, A., Limburg K. & Volpedo A. V. (2019b). Fin spine chemistry as a non-lethal alternative to otoliths for stock discrimination in an endangered catfish. *Marine Ecology Progress Series*, 614, 147-157.
- Avigliano, E., Millerb, N., Maichak de Carvalhoc, B., Córdoba, Giron de S., Tombari, A. & Volpedo A.V.. (2020). Fin spine metals by LA-ICP-MS as a method for fish stock discrimination of *Genidens barbuis* in anthropized estuaries. *Fisheries Research*, 230, 105625. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105625>
- Avigliano, E., Pisonero, J., Bouchez, J., Pouilly, M., Domanico, A., Sánchez S. & Volpedo, A. V. (2021). Otolith Sr/Ca ratio complements Sr isotopes to reveal fish migration in large basins with heterogeneous geochemical landscapes. *Environmental Biology of Fishes*, 104, 277-292.
- Bastida, R., Rodriguez, D., Scarlato, N. & Favero, M. (2005). Marine biodiversity of the South-Western Atlantic Ocean and main environmental problems of the region. *Mankind and the Oceans part. 3*, 172-204.
- Caille, G., Ferrari, S. y Abrieu, C. (1995). Los peces de la ría de Gallegos, Santa Cruz, Argentina. *Naturalia patagónica*, 191-194.
- Capatto, J. y Yanosky, A., (Eds.). 2009. Uso sostenible de peces en la Cuenca del Plata. Evaluación subregional del estado de amenaza, Argentina y Paraguay. UICN, Gland, Suiza. 76 pp.
- Duponchelle, F., Isaac, V. J., Rodrigues Da Costa Doria, C., Van Damme, P. A., Herrera-r, G. A., Anderson, E. P., ... & Castello, L. (2021). Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(5), 1087-1105.



- Figueredo, J.L. e Menezes, N.A. (1978). Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. V. Teleostei (1). Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 110 pp.
- Fontoura, N. F., Vieira J. P., Becker F. G., Rodrigues, L. R., Malabarba, L. R., Schulz, U. H. & Vilella, F. S. (2016). Aspects of fish conservation in the upper Patos Lagoon basin. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 315-336.
- Funes, A. I., Abrameto, M. A. y Tombari A. D. (2019). Nuevo registro de la distribución del bagre marino en la costa chubutense Argentina. En XVIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar - Colacmar 2019 Mar del Plata Argentina.
- Gasalla, M. A., Abdallah, P. R. & Lemos, D. (2017). Potential impacts of climate change in Brazilian marine fisheries and aquaculture. *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: a global analysis*, 1, 455-477.
- Ginestar, B. P., Scavuzzo, V., Collm, N., Baudino, M. Y Moscardi, C. (2020). Estado del ambiente de la Bahía San Julián, departamento Magallanes, Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, 12(1), 96-121.
- Landsman, S. J., Nguyen, V. M., Gutowsky, L. F. G., Gobin J., Cook, K. V., Binder, T. R. & Cooke, S. J. (2011). Fish movement and migration studies in the Laurentian Great Lakes: research trends and knowledge gaps. *Journal of Great Lakes Research*, 37(2), 365-379.
- Lindegren, M. & Brander, K. (2018). Adapting fisheries and their management to climate change: a review of concepts, tools, frameworks, and current progress toward implementation. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(3), 400-415.
- Liotta, J. (2005). Distribución geográfica de los peces de aguas continentales de la República Argentina. *Probiota FCNyM* 3 651pp.
- Mac Donagh, E. J. (1936). Sobre peces del territorio de Río Negro. *Notas del Museo de La Plata*, 1.

- Marceniuk, A. P. (2005) Descrição de *Genidens barbatus* (Lacepede, 1803) e *Genidens machadoi* (Miranda-Ribeiro, 1918), bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) do Atlântico sul ocidental. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 45, 111–25.
- Marceniuk, A. P. & Menezes, N. A. (2007). Systematics of the family Ariidae (Ostariophysi, Siluriformes), with a redefinition of the genera. *Zootaxa*, 1416, 1-126.
- Marceniuk, A. P., Oliveira, C., & Ferraris Jr, C. J. (2023). A new classification of the family Ariidae (Osteichthyes: Ostariophysi: Siluriformes) based on combined analyses of morphological and molecular data. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 200(2), 426-476
- Martin, J. P., Garese, A., Sar, A. M., & Acuña, F. H. (2015). Fouling community dominated by *Metridium senile* (Cnidaria, Anthozoa, Actiniaria) in Bahía San Julián (Southern Patagonia, Argentina). *Scientia Marina*, 79(2), 157-278.
- Martin, J. P., Sar, A., & Caminos, C. (2019). Spatial changes in the infaunal community of a macrotidal flat in Bahía San Julián, Southern Patagonia, Argentina. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(1), 51-69.
- Mendonça, J. T., Quito, L., Jankowsky, M., Balanin, S. e Garrone-Neto, D. (2017). Diagnóstico da pesca do bagre-branco (*Genidens barbatus* e *G. planifrons*) no litoral sudeste-sul do Brasil: subsídios para o ordenamento. *Série Relatos Técnicos. Instituto de Pesca*, 56, 1-77.
- Odebrecht, C., Abreu, P. C., & Carstensen, J. (2015). Retention time generates short-term phytoplankton blooms in a shallow macrotidal subtropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 162, 35-44.
- Panza, J. L. A., Irigoyen, M. V., & Genini, A. (1994). Hoja Geológica 4969-IV Puerto San Julián. Repositorio SEGEMAR.gov.ar
- Reis, E. G. (1982). Age and growth of the marine catfish, *Netuma barba* (Siluriformes, Ariidae), in the estuary of the Patos Lagoon (Brasil). *Fishery Bulletin*, 84, 679–686.

- Reis, E.G. 1986. Reproduction and feeding habitats of the marine catfish *Netuma barba* (Siluriformes, Ariidae) in the estuary of Lagoa dos Patos, Brazil. *Atlântica*, 8, 35-55.
- Sar, A. M., Martin, J. P., Fernández, R. y Caminos, C. (2018). Ciclo reproductivo y reclutamiento del mejillón *Mytilus edulis platensis* en Bahía San Julián (Santa Cruz, Argentina). *Informe Científico Técnico UNPA*, 10(2), 33-51.
- Sieldfeld, K. (1979). Nuevo registro de *Netuma barbus* (Lacepede) 1803 para aguas chilenas (Pisces: Siluriformes). *Anales del Instituto de la Patagonia*. <http://200.54.63.162/handle/20.500.11893/723>
- Silva Junior, D. R., Carvalho, D. M. and Vianna, M. (2013). The catfish *Genidens genidens* (Cuvier, 1829) as a potential sentinel species in Brazilian estuarine waters. *Journal Applied Ichthyology*, 29, 1297–1303
- Soto, J. (2004). Clima. En *Guía geográfica interactiva de la provincia de Santa Cruz*. Editores: González y Rial. Convenio INTA- Provincia de Santa Cruz- Universidad Nacional de La Patagonia Austral. Santa Cruz, Argentina.
- Tavares, L. E., & Luque, J. L. (2004). Community ecology of the metazoan parasites of white sea catfish, *Netuma barba* (Osteichthyes: Ariidae), from the coastal zone of the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 64, 169–176. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842004000100019>
- Tombari, A. D., Córdoba Giron de S., B. y Funes, A. I. (2019). Nuevos registros de la distribución del Bagre Marino (*Genidens barbuis*) en la cuenca inferior del Río Negro; Provincia de Río Negro, Argentina. *Notulas Faunísticas*, 276(2), 1-3.
- Torres, E. R., Manero, A. y Vargas, F. A. (2006). Systematic List, and Temporal Distribution of Fishes from the Estuary of the Gallegos River (Santa Cruz, Argentina). In *Anales del Instituto de la Patagonia*, 34, 59-64.
- Velasco, G., & Reis E. (2004). Changes in growth seasonality throughout *Netuma barba* (Lacepede, 1803) (Siluriformes, Ariidae) ontogeny. *Brazilian Journal of Biology*, 64, 913–914. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842004000500024>

Velasco, G., Reis, E.G., & Vieira, J.P.(2007). Calculating growth parameters of *Genidens barbatus* (Siluriformes, Ariidae) using length composition and age data. *Appl. Ichthyol.*, 23, 64–69.

Vidal, N., D'Anatro, A., González-Bergonzoni, I., Silva, I., Correa, P., País, J. & Teixeira de Mello, F. (2021). Rio de la Plata voyagers: Deciphering the migration ecology of a vulnerable marine catfish (*Genidens barbatus*) in a large subtropical river (lower Uruguay River). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(6), 1367-1378.

Vontobel, E. D. (2022). Biologia reprodutiva do bagre ameaçado de extinção *Genidens barbatus* (Lacépède, 1803)(Ariidae, Siluriformes), em ambiente estuarino no Sul do Brasil. Tesis de maestría. <http://hdl.handle.net/10183/263348>



# Estudio de la conectividad genética entre poblaciones atlanto-mediterráneas del cangrejo marino *Liocarcinus depurator*

## Study of genetic connectivity among Atlanto-Mediterranean populations of the marine crab *Liocarcinus depurator*

Francesc Mestres<sup>1</sup>, Sergi Lacueva<sup>1</sup>,  
Natalia Campaña<sup>1</sup>, Pere Abelló<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. de Genètica, Microbiologia i Estadística,  
Universitat de Barcelona, Barcelona, España

<sup>2</sup>Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC),  
Barcelona, España

Francesc Mestres<sup>1</sup>   [fmestres@ub.edu](mailto:fmestres@ub.edu)

Palabras clave |  
cangrejo,  
COI,  
corrientes marinas,  
frentes oceanográficos,  
conectividad.

**RESUMEN** | Se secuenció un fragmento de 527 pb del gen mitocondrial *COI* (*Citocromo Oxidasa subunidad I*) en un total de 143 individuos del cangrejo marino *Liocarcinus depurator* en poblaciones de la transición atlanto-mediterránea. El objetivo era analizar la variabilidad molecular poblacional y también su conectividad. En la campaña de 2022 se analizaron las poblaciones siguientes: Cádiz, Oeste del Mar de Alborán, Este del Mar de Alborán, Alicante, Valencia, Delta del Ebro y Norte de Catalunya. Se obtuvieron 24 haplotipos diferentes, de los cuales tres (Ldep\_62, Ldep\_65 y Ldep\_66) se habían encontrado de manera esporádica y en baja frecuencias desde 2005 hasta 2021, y en la presente campaña representaron 18,88% del total de secuencias. Los análisis realizados demostraron que todos los haplotipos quedaban clasificados con precisión en dos haplogrupos: el atlántico (ATL) y el mediterráneo (MED). Se observó que las frecuencias de ambos variaban en el espacio y el tiempo. De los tres frentes oceanográficos presentes en la zona estudiada (Estrecho de Gibraltar, Frente Almería-Orán y Canal de Ibiza) se constató que los dos primeros tuvieron un efecto significativo, reduciendo el flujo génico entre sus respectivas poblaciones colindantes.

Además, ambos frentes son los que más años han resultado ser significativos y, por tanto, serían barreras importantes en la conectividad entre sus poblaciones. Para dicha especie y respecto al gen *COI*, ambos frentes delimitan tres regiones biogeográficas: el Golfo de Cádiz, el Mar de Alborán y la región levantino-catalana. Este resultado es relevante para la correcta definición de áreas marinas protegidas y también para las políticas de protección y pesca sostenible.

Keywords |  
crab,  
*COI*,  
marine currents,  
oceanographic fronts,  
connectivity.

**ABSTRACT** | A 527 bp fragment of the mitochondrial gene *COI* (*Cytochrome Oxidase subunit I*) was sequenced in a total of 143 individuals of the marine crab *Liocarcinus depurator* in populations from the Atlanto-Mediterranean transition. The main aim was to analyze the population molecular variability, and also their connectivity patterns. In the 2022 sampling cruise, the following populations were analyzed: Cádiz, West of the Alboran Sea, East of the Alboran Sea, Alicante, Valencia, Ebro Delta, and North of Catalonia. A total of 24 different haplotypes were obtained, of which three (Ldep\_62, Ldep\_65 and Ldep\_66) were found sporadically and at low frequencies from 2005 until 2021, but in the current sampling they represented up to 18.88% of the total. The analyses carried out showed that all haplotypes were accurately classified into two haplogroups: the Atlantic (ATL) and the Mediterranean (MED). The frequencies of both haplogroups varied in space and time. Of the three oceanographic fronts present in the studied area (Strait of Gibraltar, Almería-Oran Front, and Ibiza Channel) the first two had a significant effect, reducing gene flow between their respective neighboring populations. Furthermore, both fronts are those that have proven to be significant in most previous years, and therefore would be relevant barriers concerning connectivity between *L. depurator* populations. For this species and with regard to the *COI* gene, these fronts delimit three geographical regions: the Gulf of Cádiz, the Alboran Sea, and the Levantine-Catalan region. This result is relevant for the correct definition of marine protected areas, and also for protection and sustainable fishing policies.

## INTRODUCCIÓN

En general, los seres vivos habitan en ecosistemas cuyas condiciones pueden ir variando a lo largo del tiempo. Por ejemplo, el cambio climático afecta a muchas especies marinas y terrestres (Shields 2019; Albouy *et al.*, 2020; Lenoir *et al.*, 2020; Ripple *et al.*, 2020; Chaudhary *et al.*, 2021; Georgian *et al.*, 2022). Frente a estas alteraciones de los ecosistemas es preciso que la selección natural pueda conseguir adaptaciones que permitan a los organismos sobrevivir y reproducirse de manera eficiente. Para ello, es fundamental que las poblaciones presenten variabilidad genética, que es el sustrato que utiliza la selección para escoger aquellos alelos que posibilitan la adaptación ante unas condiciones ambientales concretas. Un mecanismo que puede incrementar la variabilidad genética es la migración, que permite la llegada de nuevas variantes alélicas desde una población donante a otra receptora. En muchas especies marinas las corrientes pueden tener un efecto clave en esta migración, dispersando larvas, juveniles o adultos a grandes distancias. Por otra parte, dichas corrientes pueden producir giros y remolinos que pueden provocar la aparición de frentes o barreras oceanográficas, dificultando o impidiendo la migración incluso entre poblaciones geográficamente cercanas. Por estas razones es fundamental entender los fenómenos de migración por las corrientes marinas y de los frentes oceanográficos generando el efecto contrario. Conocer la variabilidad de las poblaciones y el flujo génico que hay entre ellas es de vital importancia para elaborar una programación adecuada de acciones destinadas a establecer una pesca sostenible y poder definir correctamente las A.M.P. (Áreas Marinas Protegidas).

En consecuencia, conocer la dinámica genético-poblacional es de importancia capital para estimar la evolución de las especies marinas de interés comercial. Para abordar este interesante problema hemos utilizado como especie modelo el cangrejo marino *Liocarcinus depurator* (Abelló, 2008; Ojeda *et al.*, 2022; Mestres *et al.*, 2021, 2023). En esta especie puede analizarse de manera adecuada la variabilidad genética a nivel molecular. Además, en sus estadios larvarios planctónicos puede dispersarse a grandes distancias y, a su vez, verse influido por el efecto de las barreras oceanográficas. Este cangrejo tiene interés comercial en la Península Ibérica donde recibe un sinfín de nombres comunes, de manera que el Ministerio español de Agricultura, Pesca y Alimentación fijó legalmente su

denominación comercial general (falsa nécora) y para las diferentes comunidades autónomas en las que su comercio es relevante: cangrejo de arena (Andalucía), cranc de sopa (Catalunya), patulate (Galicia) y cangrejo (Murcia) (B.O.E., 2019). Gastronómicamente se utiliza para la elaboración de platos de arroz, sopas de pescado o salsas de marisco. Por su excelente sabor, en algunas localidades de la costa española también se utilizan para el aperitivo, salteándolos brevemente a la plancha con aceite de oliva. Por otra parte, su carne puede servir para la elaboración de harinas que se usan como alimento en acuicultura, en especial para moluscos y erizos de mar. En cambio, la quitina de su exoesqueleto es de interés para la industria farmacéutica y cosmética (Prego, 2011).

Las características biológicas de *L. depurator* hacen que sea una buena especie modelo para el tipo de estudio que se pretende realizar (Abelló, 2008). Se trata de un crustáceo braquiuro perteneciente a la familia Polybiidae que habita en los fondos fangosos de la plataforma continental y del talud superior, a unas profundidades comprendidas entre los 3 y los 500m, aunque preferentemente se encuentra entre los 50 y 200m. (Abelló et al., 2002). Geográficamente, *L. depurator* está presente a lo largo de las costas del Atlántico oriental desde Mauritania hasta Noruega, ocupando también la cuenca mediterránea (Abelló, 2008) y el Mar Negro (Onay and Bilgin, 2021). Es un crustáceo depredador que se alimenta principalmente de organismos pequeños como peces, moluscos, cefalópodos y crustáceos. Por este motivo ocupa un papel destacado en las interrelaciones tróficas del ecosistema bentónico (Abelló y Cartes, 1987). En el Mediterráneo, su reproducción es invernal, por lo que el cambio climático repercute negativamente sobre *L. depurator* (Abelló, 2008). Su desarrollo larvario consiste en dos fases: cinco estadios de zoea y uno de megalopa (Abelló, 2008; Pascual et al., 2016). Durante la primera fase, que dura unas cinco semanas, en función de la temperatura, las larvas son epipelágicas y pueden dispersarse libremente. Al alcanzar el estadio larval denominado megalopa se asientan en el fondo de la plataforma continental. Los cangrejos adultos ya no presentan episodios de migración a gran o media escala. Los juveniles crecen rápidamente y alcanzan la madurez sexual durante el primer año de vida. Por lo tanto, los individuos adultos observados en una población y un año concretos dependen principalmente del reclutamiento del año anterior (Pascual et al., 2016; Ojeda et al., 2022).



Desde hace algunos años estudiamos las poblaciones de *L. depurator* en el área de la transición atlanto-mediterránea, en concreto desde el Golfo de Cádiz hasta el Norte de Catalunya. El estudio pionero de García-Merchán *et al.* (2012) puso de manifiesto que en dicha especie el gen mitocondrial *COI* (*Citocromo Oxidasa subunidad I*) presentaba una elevada variabilidad intraespecífica, lo que lo convertía en idóneo para los estudios poblacionales. Esto permite que se puede estimar la variabilidad molecular de las poblaciones y, por comparación entre ellas, conocer la magnitud de su conectividad. De hecho, la conectividad se define como el intercambio genético (flujo génico) entre individuos de distintas poblaciones (Cooke *et al.*, 2016). Una baja conectividad entre poblaciones vecinas y geográficamente próximas indicaría el posible efecto de un frente oceanográfico. En la región de nuestro estudio están descritos diversos frentes oceanográficos (Pascual *et al.*, 2016, 2017; Ojeda *et al.*, 2022), cuya intensidad y localización precisa puede variar con el tiempo: el Estrecho de Gibraltar (GS), el Frente Almería-Orán (AOF) y el Canal de Ibiza (IC) (Figura 1). Por esta razón es interesante realizar estudios anuales en esta región para estimar la variabilidad genética de las poblaciones y las posibles variaciones en la conectividad entre ellas, puesto que seguramente son consecuencia de las fluctuaciones temporales de las barreras oceanográficas que afectan la dispersión larvaria. En este trabajo mostramos los resultados obtenidos para el muestreo poblacional de *L. depurator* realizado durante el año 2022 y los comparamos con la información recopilada en los años previos (García-Merchán *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2016; Ojeda *et al.*, 2022; Mestres *et al.*, 2023).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Poblaciones analizadas y preparación de las muestras

En la campaña 2022, se capturaron individuos de *L. depurator* en las siguientes poblaciones: Golfo de Cádiz (CADI), aguas atlánticas al oeste del Estrecho de Gibraltar; Oeste del Mar de Alborán (WALB), desde el Estrecho de Gibraltar hasta el Cabo de Sacratif; Este del Mar de Alborán (EALB), desde el Cabo de Sacratif hasta al Cabo de Gata; Golfo de Vera (VERA), desde el Cabo de Gata hasta el Cabo de Palos; Alicante (ALAC), desde Cabo de Palos hasta el Cabo La Nao; Valencia (VALE), desde el Cabo La Nao hasta Castellón-Columbretes; Delta del

Ebro (DELTA), desde Castellón-Columbretes hasta Tarragona; Norte de Catalunya (NCAT), desde Barcelona hasta el Cabo de Creus. La localización de estas poblaciones se presenta en la Figura 1.

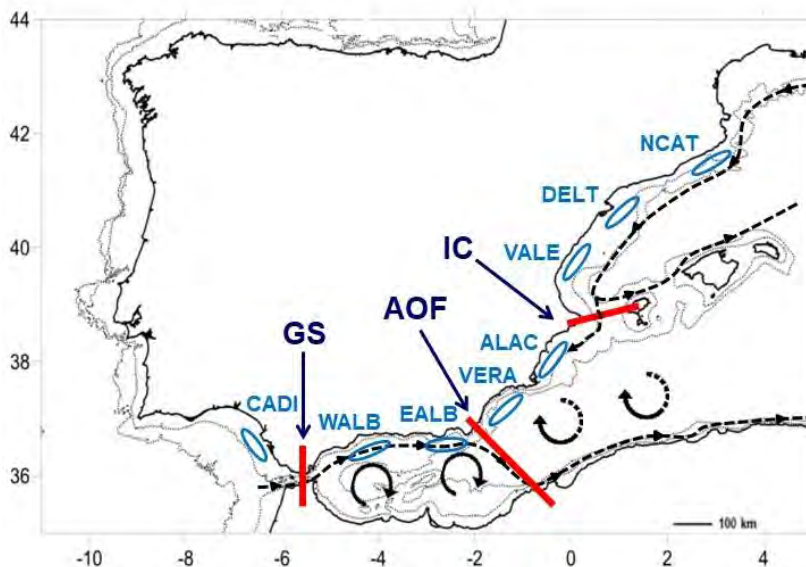


Figura 1. Mapa de la zona de estudio, la transición atlántico-mediterránea. Se indican en azul las poblaciones muestreadas, que fueron: CADI (Cádiz), WALB (Oeste del Mar de Alborán), EALB (Este del Mar de Alborán), VERA (Vera), ALAC (Alicante), VALE (Valencia), DELTA (Delta del Ebro) y NCAT (Norte de Catalunya). También aparecen, en rojo, las barreras oceanográficas (GS, AOF e IC) y, en negro, las principales corrientes y giros. Las líneas grises representan las isóbatas de 200 y 1000 metros de profundidad.

Las muestras poblacionales de *L. depurator* se llevaron a cabo durante las campañas MEDITS (*Mediterranean International Trawl Survey*) y ARSA (*Arrastre en la Región Sur Atlántica*) durante la primavera de 2022, que fue financiada por la Comisión Europea y realizada por el Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC). Los muestreos se efectuaron por medio de lances de pesca de arrastre científico en un rango de profundidad comprendido entre 40-800 metros desde el buque oceanográfico *Miguel Oliver*. A bordo de dicho barco se clasificaron los individuos y aquellos ejemplares con un cefalotórax mayor que 30 mm eran seleccionados puesto que se consideraba que tenían un año de vida (Abelló et al., 1990). También en el barco, cada muestra individual se preparaba colocando en un vial

un fragmento de pereiópodo de *L. depurator* que se deshidrató con etanol de 96° y se guardó a 4°C.

### Extracción, amplificación y secuenciación del DNA

Una vez en el laboratorio se tomaba una pequeña fracción (unos 0,1g) del tejido muscular del pereiópodo para extraer el DNA mediante Quiagen Puregen® Cell Kit (Qiagen Inc.) según las indicaciones del fabricante. El fragmento del gen *Citocromo Oxidasa subunidad I (COI)* se amplificó mediante una reacción de PCR utilizando los *primers* universales de Folmer *et al.* (1994). Los detalles de la reacción de PCR y limpieza de los productos están descritos en Pascual *et al.* (2016) y Ojeda *et al.* (2022). Finalmente, la secuenciación fue realizada por los Serveis Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona.

### Comparación de las secuencias y estimas genético-poblacionales

Todas las secuencias obtenidas se repasaron de forma manual. Mediante BioEdit v7.2.6.1 (Hall, 1999) se alinearon y cortaron para conseguir los fragmentos finales de 527 pb del gen *COI*. El software DnaSP v5.10.1 (Librado and Rozas, 2009) se utilizó para calcular los parámetros de la diversidad molecular, las distancias genéticas ( $\Gamma_{ST}$ ) y los valores para el estadístico  $S_{nn}$ . En los casos de comparaciones múltiples se utilizó la corrección FDR (*False Discovery Rate*) (Benjamini and Hochberg, 1995), considerando siempre la significación como  $p$ -valor  $< 0,05$ . La identificación de los haplotipos se llevó a cabo usando la misma nomenclatura que se utilizó en trabajos previos (García-Merchán *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2016; Mestres *et al.*, 2021; Ojeda *et al.*, 2022; Mestres *et al.*, 2023). Usando todas las secuencias obtenidas en 2022 se elaboró una red de haplotipos con el algoritmo *Median Joining* (Bandelt *et al.*, 1999) mediante el programa NETWORK v5 de Fluxus Technology. Con dichas secuencias se construyó también un árbol filogenético utilizando el procedimiento *Neighbour Joining* del paquete informático MEGA X (Kumar *et al.*, 2018). Por último, para analizar la posible relación entre las distancias genéticas y geográficas de las poblaciones estudiadas se calculó un test de Mantel y un Análisis de Coordenadas Principales (PCoA). Para ello se utilizó el paquete *vegan* programado en R (Oksanen *et al.*, 2016).

## RESULTADOS

### Estimas de la variabilidad genética

En la campaña de 2022, se obtuvieron 143 secuencias de 527 pb para el gen mitocondrial *COI* de *L. depurator*. En la Tabla 1 se muestran las diversidades haplotípica y nucleotídica, junto con otros parámetros moleculares de las poblaciones analizadas. Dichas estimas no se calcularon para la población de Vera (VERA) debido a su reducido tamaño muestral (sólo tres individuos).

Tabla 1. Parámetros que definen la variabilidad molecular de *L. depurator* en las poblaciones de la transición atlanto-mediterránea para la campaña de 2022. Abreviaciones: N, número de secuencias; H, número de haplotipos; S, número de posiciones polimórficas; Hd, diversidad haplotípica con la desviación estándar;  $\pi(\times 100)$ , diversidad nucleotídica con la desviación estándar. Abreviaturas para las poblaciones: (CADI) Cádiz; (WALB) Oeste del Mar de Alborán; (EALB) Este del Mar de Alborán; (ALAC) Alicante; (VALE) Valencia; (DELT) Delta del Ebro; (NCAT) Norte de Catalunya.

Población	N	H	S	Hd	$\pi(\times 100)$
CADI	21	7	9	0,843±0,044	0,425±0,053
WALB	22	7	7	0,697±0,082	0,363±0,045
EALB	19	8	8	0,813±0,067	0,415±0,041
ALAC	20	8	8	0,853±0,049	0,532±0,049
VALE	21	8	10	0,843±0,053	0,553±0,060
DELT	21	7	11	0,619±0,118	0,401±0,105
NCAT	16	4	7	0,442±0,145	0,262±0,105

El número de haplotipos diferentes (H) fue similar en todas las poblaciones, excepto en el Norte de Catalunya, que presentaba un número menor, siendo la población en la que se pudieron estudiar menos secuencias. Las estimas más elevadas para la diversidad haplotípica (Hd) se obtuvieron en Cádiz, Este del Mar de Alborán, Alicante y Valencia, mientras que la más baja correspondía al Norte de Catalunya. En cambio, los valores más altos para la diversidad nucleotídica ( $\pi \times 100$ ) se observaron en Alicante y Valencia, correspondiendo el valor más bajo otra vez al Norte de Catalunya.

## Estructura poblacional de los haplotipos

Las 143 secuencias obtenidas pertenecían a 24 haplotipos distintos, de los cuales seis no se habían descrito previamente (desde el Ldep\_182 al Ldep\_187). Es de destacar que desde que el grupo de investigación empezó a trabajar con el gen *COI* en *L. depurator* en el año 2005 (García-Merchán, 2012) se han descrito 187 haplotipos distintos.

Con los haplotipos de la campaña de 2022 se construyó una red que permitía observar la semejanza en cuanto a secuencia nucleotídica entre ellos y su abundancia relativa en cada población estudiada (Figura 2). También se confeccionó un árbol filogenético (Figura 3). En ambos casos se puede apreciar una clara diferenciación de los haplotipos en dos haplogrupos bien definidos: el atlántico (ATL) y el mediterráneo (MED). En la población de VERA se encontraron dos haplotipos atlánticos (ambos Ldep\_03) y uno mediterráneo (Ldep\_02).

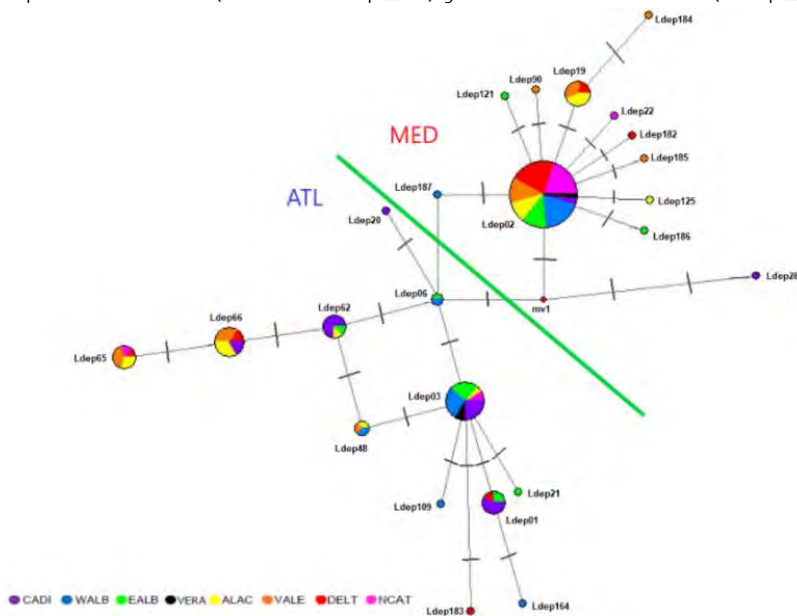


Figura 2. Red de haplotipos de la campaña de 2022. Los nodos indican los diferentes haplotipos y su tamaño es proporcional a su abundancia. Los nodos similares se conectan por medio de ramas y las líneas transversales en éstas indican cambios nucleotídicos. Los colores representan el origen poblacional de los haplotipos como se muestra en la leyenda. La línea de color verde separa los haplotipos en los pertenecientes a los haplogrupos atlántico (ATL) y mediterráneo (MED). Las abreviaturas de las poblaciones son las mismas que las utilizadas en la Tabla 1.

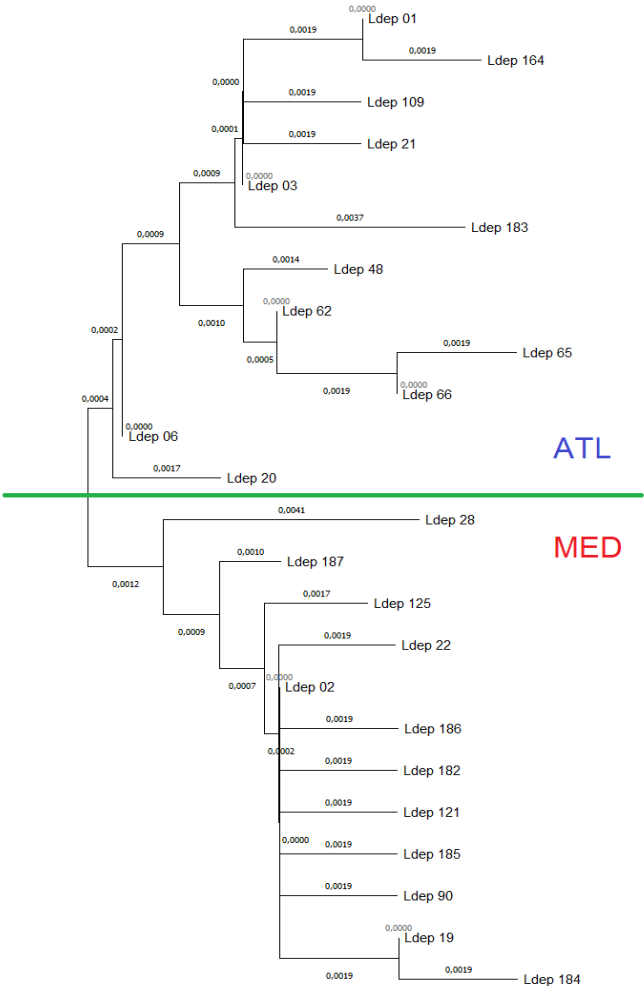


Figura 3. Árbol filogenético confeccionado con los haplotipos de 2022. La línea de color verde muestra la primera partición que separa el haplogrupo atlántico (ATL) del mediterráneo (MED).

### Distancias genéticas entre poblaciones y efecto de las barreras oceanográficas

La diferenciación entre poblaciones utilizando la distancia genética  $\Gamma_{ST}$  se muestra en la Tabla 2. Es particularmente interesante observar en la tabla lo que ocurre entre las poblaciones que se encuentran a ambos lados de las posibles

barreras oceanográficas en la transición atlanto-mediterránea: entre CADI y WALB se situaría GS; entre EALB y ALAC se localizaría AOF; entre ALAC y VALE se encontraría IC. Para las dos primeras barreras existen diferencias significativas en la diferenciación entre las poblaciones colindantes, por lo tanto, dichos frentes fueron importantes en la reducción de la conectividad. El IC no mostró efecto en este estudio.

Tabla 2. Valores de la distancia genética  $\Gamma_{ST}$  y del estadístico Snn junto con su correspondiente p-valor y p-valor corregido. En negrita se muestran los valores significativos. Las abreviaturas de las poblaciones son las mismas que las utilizadas en la Tabla 1. En color se muestran las parejas de poblaciones que flanquean cada uno de los posibles frentes oceanográficos: en marrón claro, GS; en verde claro, AOF; en gris claro IC.

Población 1	Población 2	$\Gamma_{ST}$	Snn	p-valor	p-valor ajustado
CADI	WALB	0,109	0,665	0,001	0,004
CADI	EALB	0,085	0,558	0,068	0,102
CADI	ALAC	0,114	0,691	0,002	0,005
CADI	VALE	0,142	0,788	0,000	0,000
CADI	DELT	0,201	0,741	0,000	0,000
CADI	NCAT	0,251	0,752	0,000	0,000
WALB	EALB	0,006	0,567	0,714	0,750
WALB	ALAC	0,077	0,666	0,002	0,005
WALB	VALE	0,088	0,706	0,000	0,000
WALB	DELT	0,065	0,618	0,002	0,005
WALB	NCAT	0,075	0,516	0,184	0,242
EALB	ALAC	0,077	0,651	0,006	0,012
EALB	VALE	0,090	0,716	0,000	0,000
EALB	DELT	0,075	0,628	0,005	0,011
EALB	NCAT	0,091	0,548	0,093	0,130
ALAC	VALE	0,005	0,424	0,982	0,982
ALAC	DELT	0,042	0,491	0,428	0,499
ALAC	NCAT	0,079	0,612	0,023	0,037
VALE	DELT	0,034	0,482	0,497	0,549
VALE	NCAT	0,066	0,623	0,016	0,028
DELT	NCAT	0,010	0,514	0,381	0,471

El porcentaje de los haplogrupos atlántico (ATL) y mediterráneo (MED) en las siete poblaciones estudiadas se presenta en la Figura 4. Cádiz aparece muy diferenciado y se insinúa un gradiente con una cierta tendencia al alza del haplogrupo MED a medida que se va penetrando en el Mediterráneo. Se muestran también las localizaciones de los frentes oceanográficos que han resultado ser significativos en la campaña de 2022. Es interesante observar que entre EALB y ALAC la proporción de los dos haplogrupos no parece muy diferente, pero si lo fue respecto a su composición en haplotipos concretos.

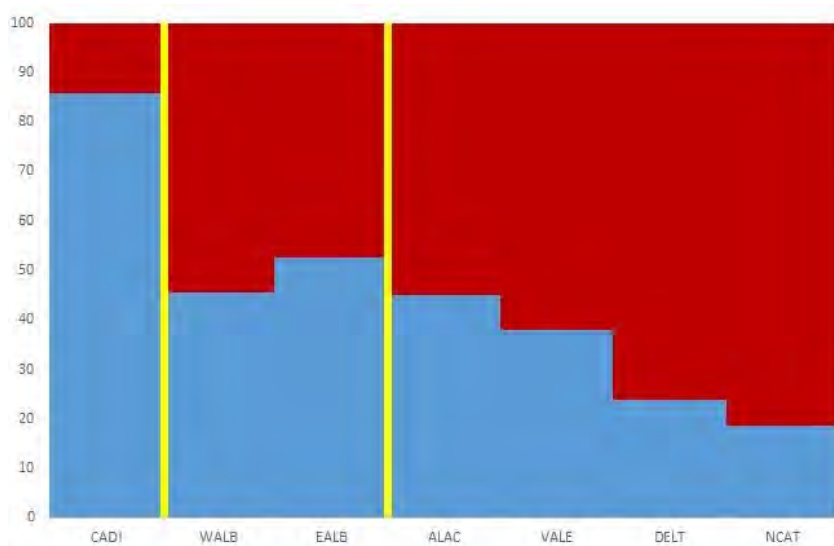


Figura 4. Histograma con los porcentajes de los haplogrupos atlántico (ATL, en azul) y mediterráneo (MED, en rojo) para las siete poblaciones estudiadas en 2022. Las líneas amarillas indican diferencias significativas en la composición genética entre poblaciones vecinas. Las abreviaturas de las poblaciones son las mismas que las utilizadas en la Tabla 1.

Por último, en el análisis entre las distancias genéticas y geográficas, el test de Mantel mostraba una correlación significativa entre ambas ( $r = 0,713$ ;  $p$ -valor =  $0,003$ ). El análisis de coordenadas principales (PCoA), utilizando las distancias genéticas, también mostró dicha relación. La primera y la segunda coordenada explicaban respectivamente el 84,57% y el 15,43% de la variabilidad, de manera que entre ambas representan el 100% (Figura 5).



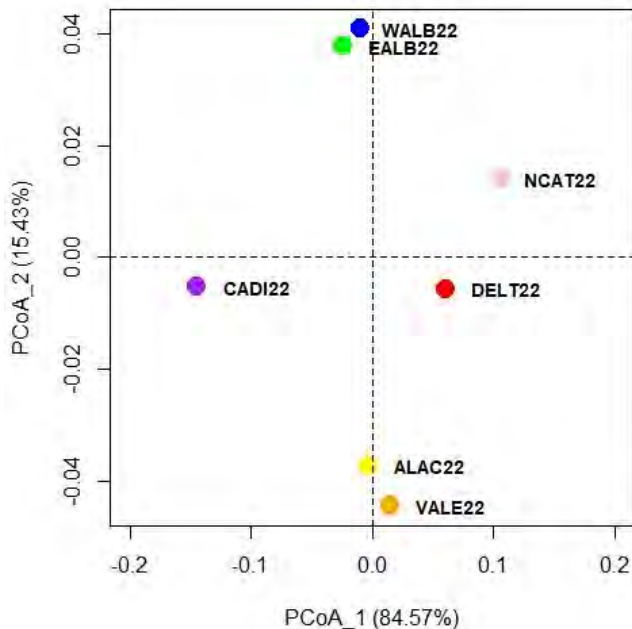


Figura 5. Análisis de coordenadas principales (PCoA) a partir de la matriz de distancias genéticas de las poblaciones estudiadas en la campaña de 2022: Cádiz (CADI), Oeste de Mar de Alborán (WALB), Este de Mar de Alborán (EALB), Alicante (ALAC), Valencia (VALE), Delta del Ebro (DELT) y Norte de Catalunya (NCAT).

La distribución de las poblaciones que se obtuvo mediante el PCoA encajaba muy bien con la posición geográfica de las mismas y está de acuerdo con sus frecuencias poblacionales para los haplogrupos ATL i MED (Figura 4).

## DISCUSIÓN

En *L. depurator*, la variabilidad del gen *COI* en las poblaciones estudiadas de la transición atlanto-mediterránea es variable en el espacio y en el tiempo (Pascual *et al.*, 2016; Ojeda *et al.*, 2022; Mestres *et al.*, 2023). En las capturas de 2022, Cádiz y las dos poblaciones del Mar de Alborán presentaban valores elevados tanto para  $H_d$  y  $\pi(\times 100)$ , lo que es lógico. Cádiz puede recibir libremente haplotipos provenientes de todo el océano Atlántico y una pequeña porción que proviene del Mediterráneo mediante aguas superficiales. En general, el Mar de Alborán es una zona de mezcla de aguas de los dos orígenes, atlántico y

mediterráneo. En cambio, sorprende los valores observados en esta campaña en Alicante y Valencia. Como en todas las campañas previas todos los haplotipos obtenidos se distribuían en dos haplogrupos, el Atlántico (ATL) y el Mediterráneo (MED). Dentro del primer grupo (ATL) el haplotipo mayoritario fue el Ldep\_03, del que se encontraron 21 secuencias en 2022. Pero en la presente campaña se han encontrado otros haplotipos bastante abundantes: Ldep\_62 (8 secuencias), Ldep\_65 (7 secuencias) y Ldep\_66 (12 secuencias), relacionados por un único cambio nucleotídico entre cada uno de ellos (Figura 2). Sin embargo, lo más interesante es que mientras Ldep\_03 es muy abundante al oeste del AOF, los otros tres lo son en Alicante y Valencia, es decir, al este del AOF. Únicamente un individuo con el haplotipo Ldep\_62 se detectó en EALB. Este hecho fue fundamental en la diferencia significativa para la distancia genética  $\Gamma_{MS}$  entre EALB y ALAC, produciendo como resultado un efecto significativo del AOF (Tabla 2), a pesar de que las proporciones de ambos haplogrupos eran muy similares entre ambas poblaciones (Figura 4). En el presente estudio, el haplotipo Ldep\_62 se ha detectado en las siguientes poblaciones: 6 en CADI, 1 en EALB y 1 en ALAC; el Ldep\_65 se ha observado con la distribución siguiente: 2 en ALAC, 3 en VALE, 1 en DELT y 1 en NCAT; finalmente el Ldep\_66 se ha detectado en: 2 en CADI, 4 ALAC, 4 en VALE y 2 en DELT.

Es de destacar que estos tres haplotipos (Ldep\_62, Ldep\_65 y Ldep\_66) se habían detectado anteriormente de manera esporádica. En los muestreos de 2009 (García-Merchán, 2012), estos tres haplotipos se detectaron en las poblaciones siguientes: VALE (Ldep\_62, un solo individuo) y NCAT (Ldep\_65 y Ldep\_66, un solo individuo de cada tipo). En el estudio poblacional de 2010, solamente se detectó un único haplotipo Ldep\_62 en VALE (Pascual et al., 2016). Posteriormente, solo una secuencia con el haplotipo Ldep\_65 se observó en la población de DELT en 2016, a pesar de se trató de un proyecto de seis años en los que se secuenciaron 966 individuos (Ojeda et al., 2022). En cambio, en los muestreos poblacionales de 2021, el haplotipo Ldep\_65 se detectó cuatro veces: una en WALB, una en VALE y dos en DELT (Luna, 2022).

Existen diversas hipótesis para explicar el incremento de estos tres haplotipos. Una posibilidad es que estuviesen presentes en el golfo de Cádiz y hubiesen penetrado en el Mediterráneo con la corriente marina principal de entrada (Figura 1). Si fuese correcta, sería de esperar que en el Mar de Alborán se encontrasen

con unas frecuencias relevantes, pero su presencia en estas poblaciones es insignificante, detectándose solamente un individuo con el Ldep\_62 en EALB (2022) y otro con el Ldep\_65 en WALB (2021). Otra hipótesis posible sería que, además de su entrada en el Mediterráneo desde el Atlántico, estos haplotipos hubiesen podido establecerse, consolidarse y reproducirse recientemente en las costas del norte de África, en concreto al este de la ciudad de Orán (Figura 1).

Más tarde, estas masas de agua atlántica podrían haber ascendido hasta la costa levantina llevando consigo larvas con estos haplotipos. Esto explicaría su abundancia en ALAC y VALE. Una última hipótesis sería que los tres haplotipos hubiesen entrado desde el Atlántico por el estrecho de Gibraltar y que circularan por la costa italiana de Liguria y la francesa hasta llegar a las costas catalanas y levantinas (Figura 1), siguiendo la Corriente del Norte. Esta hipótesis se sustentaría en el hecho de detectar el haplotipo Ldep\_65 dos veces en DELT (2021) y una sola vez en DELT y NCAT en 2022. Todas las hipótesis tienen el hándicap de la muy escasa frecuencia de dichos haplotipos en el Mar de Alborán. Quizás es que su paso fue de tránsito, no pudiendo establecerse en dicha zona, pero sí en las costas argelinas, tras pasado el AOF. Los resultados de los próximos años serán interesantes para tratar de entender su reaparición en aguas levantino-catalanas.

La presente campaña (2022) ha puesto de manifiesto otra vez la importancia del GS y el AOF sobre la distribución de los haplotipos en las poblaciones de *L. depurator* de la transición atlanto-mediterránea. Los resultados recopilados respecto al efecto de los frentes oceanográficos en dicha región hasta el momento en nuestro proyecto de series anuales (Ojeda et al., 2022, Mestres et al., 2023) se muestran en la Tabla 3:

**Tabla 3.** Efecto significativo o no de los frentes oceanográficos del área de estudio a lo largo de los años.

FRENTE	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021	2022
GS	N	S	N	S	S	S	–	S
AOF	S	S	S*	S	N	S	S	S
IC	N	N	S	N	N	N	N	N

Abreviaciones: GS, Estrecho de Gibraltar; AOF, Frente Almería-Orán; IC, Canal de Ibiza. N, no significativo; S, significativo; S\*, significativo pero desplazado respecto a su localización geográfica habitual; –, no fue posible analizarlo.

Al observar la tabla se aprecia que GS y AOF son muy importantes como barreras que limitan la conectividad entre las poblaciones para el gen *COI* en *L. depurator*. Diversos autores han puesto de manifiesto para las especies marinas la importancia del GS (Papetti et al., 2005; Sala-Bozano et al., 2009; Galarza et al., 2009; Fruciano et al., 2011; Marie et al., 2016) y del AOF (Pérez-Losada et al., 2002; Nantón et al., 2017; Pannacciulli et al., 2017; Heras et al., 2019; González-Castellano et al., 2020). Todos estos resultados, más los presentados en esta publicación, en especial el PCoA (Figura 5), confirman que en la transición atlanto-mediterránea se identifican tres áreas biogeográficas: Golfo de Cádiz, Mar de Alborán y la región levantino-catalana. Estos resultados son de suma utilidad para definir adecuadamente áreas marinas protegidas.

## CONCLUSIONES

1. La diversidad molecular para el gen *COI* en *L. depurator* es variable tanto en el espacio como en el tiempo. Sin embargo, parece suficiente para garantizar una buena capacidad adaptativa y de persistencia de la especie.

2. Las 143 secuencias obtenidas en 2022 pertenecían a 24 haplotipos distintos y se clasificaban en dos haplogrupos, el atlántico (ATL) y el mediterráneo (MED). Es de destacar que se detectaron tres haplotipos (Ldep\_62, Ldep\_65 y Ldep\_66), que representaron un 18,88% del total de secuencias, que en años anteriores eran muy poco frecuentes.

3. Se detectó un efecto significativo del Estrecho de Gibraltar (GS) y del Frente Almería-Orán (AOF) reduciendo el flujo génico entre las poblaciones. A lo largo de los años, se ha demostrado que estos dos frentes son los más relevantes respecto a la conectividad poblacional.

4. Se confirma que en la transición atlanto-mediterránea existen tres áreas biogeográficas: Golfo de Cádiz, Mar de Alborán y región levantino-catalana. Estos resultados son relevantes para definir adecuadamente las áreas marinas protegidas y, en consecuencia, para las políticas de protección y pesca sostenible.

## Agradecimientos

Queremos agradecer la labor de todos los miembros de las campañas MEDITS y ARSA que nos ayudaron en la recolección de las muestras. Su colaboración ha sido fundamental para poder desarrollar este trabajo. Esta investigación fue financiada por los proyectos: PID2020-118550RB (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), CLIFISH CTM2015-66-400-C3-3-R (MINECO/FEDER20), 17SGR 1120 (Generalitat de Catalunya, Spain) y CGCAT (ARP140/20/000006). Finalmente, este trabajo reconoce la acreditación 'Centro de Excelencia Severo Ochoa' (CEX2019-000928-S) financiada por AEI 10.13039/501100011033.

## REFERENCIAS

- Abelló P. (2008). Crustáceos. Los Decápodos. Los Portúnidos. En: La riqueza de nuestros mares: especies de interés del sector pesquero español. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. pp: 599-622.
- Abelló P., Cartes J. (1987). Observaciones sobre la alimentación de *Liocarcinus depurator* (L.) (Brachyura: Portunidae) en el Mar Catalán. Investigaciones Pesqueras, 51 (Supl. 1): 413-419.
- Abelló P., Carbonell A., Torres P. (2002). Biogeography of epibenthic crustaceans on the shelf and upper slope off the Iberian Peninsula Mediterranean coasts: implications for the establishment of natural management areas. Scientia Marina, 66 (Suppl. 2): 183-198.
- Abelló P., Pertierra J.P., Reid D.G. (1990). Sexual size dimorphism, relative growth and handedness in *Liocarcinus depurator* and *Macropipus tuberculatus* (Brachyura: Portunidae). Scientia Marina, 54: 195-202.
- Albouy C., Delattre V., Donati G., Frölicher T.L., Albouy-Boyer S., Rufino M., Pellissier L., Mouillot D., Leprieur F. (2020). Global vulnerability of marine mammals to global warming. Scientific Reports, 10: 548.

- Bandelt H.J., Forster P., Röhl A. (1999). Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 16: 37-48.
- Benjamini Y., Hochberg Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society B (Statistical Methodology)*, 57: 289-300.
- B.O.E. (2019). Resolución de 24 de mayo de 2019, de la Secretaría General de Pesca, por la que se publica el listado de denominaciones comerciales de especies pesqueras y de acuicultura admitidas en España. 143: 62708.
- Chaudhary C., Richardson A.J., Schoeman D.S., Costello M.J. (2021). Global warming is causing a more pronounced dip in marine species richness around the equator. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 118: e2015094118.
- Cooke G.M., Schlub T.E., Sherwin W.B., Ord T.J. (2016). Understanding the spatial scale of gene connectivity at sea: Unique insights from a lan fish in meta-analysis. *PLoS One*, 11: 1-25.
- Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3: 294-299.
- Fruciano C., Hanel R., Debes P.V., Tigano C., Ferrito, V. (2011). Atlantic-Mediterranean and within-Mediterranean molecular variation in *Coris julis* (L. 1758) (Teleostei, Labridae). *Marine Biology*, 158: 1271-1286.
- Galarza J.A., Turner G.F., Macpherson E., Rico, C. (2009). Patterns of genetic differentiation between two cooccurring demersal species: the red mullet (*Mullus barbatus*) and the striped red mullet (*Mullus surmuletus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66: 1478-1490.
- García-Merchán V.H. (2012). Estructura genética poblacional y discontinuidades oceanográficas en crustáceos decápodos. Tesis doctoral, Universitat de

Barcelona, España. 154 pp.

- García-Merchán V.H., Robainas-Barcia A., Abelló P., Macpherson E., Palero F., García-Rodríguez M., Gil de Sola L., Pascual M. (2012). Phylogeographic patterns of decapod crustaceans at the Atlantic–Mediterranean transition. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62: 664-672.
- Georgian S., Hameed S., Morgan L., Amon D.J., Sumaila U.R., Johns D., Ripple W.J. (2022). Scientists' warning of an imperiled ocean. *Biological Conservation*, 272: 109595.
- González-Castellano I., González-López J., González-Tizón A.M., Martínez-Lage A. (2020). Genetic diversity and population structure of the rockpool shrimp *Palaemon elegans* based on microsatellites: evidence for a cryptic species and differentiation across the Atlantic-Mediterranean transition. *Scientific Reports*, 10: 10784.
- Hall T. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41: 95-98.
- Heras S., Planella L., García-Marín J.L., Vera M., Roldán M.I. (2019). Genetic structure and population connectivity of the blue and red shrimp *Aristeus antennatus*. *Scientific Reports*, 9: 13531.
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. (2018). MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35: 1547-1549.
- Lenoir J., Bertrand R., Comte L., Bourgeaud L., Hattab T., Murienne J., Grenouillet G. (2020). Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nature Ecology and Evolution*, 4: 1044-1059.
- Librado P., Rozas J. (2009). DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*, 25: 1451-1452.

- Luna, E. (2022). Estudio de la variabilidad molecular en poblaciones atlanto-mediterráneas del cangrejo marino *Liocarcinus depurator*. Trabajo Final de Grado, Universitat de Barcelona, España. 42 pp.
- Marie A.D., Lejeusne C., Karapatsiou E., Cuesta J.A., Drake P., Macpherson E., Bernatchez L., Rico C. (2016). Implications for management and conservation of the population genetic structure of the wedge clam *Donax trunculus* across two biogeographic boundaries. *Scientific Reports*, 6: 39152.
- Mestres F., Sellés M., Rojo E., Lagares C., Serra B., Ojeda V., Abelló P. (2021). La conectividad entre poblaciones del cangrejo marino *Liocarcinus depurator* en la transición Atlanto-mediterránea. En: X Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui., Ed. AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canarias, España. pp. 495-511.
- Mestres F., Luna E., Lacueva S., Abelló P. (2023). Estudio de la variabilidad molecular en poblaciones mediterráneas del cangrejo marino *Liocarcinus depurator*. En: XI Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui., Ed. AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canarias, España. pp. 195-210.
- Nantón A., Arias-Pérez A., Freire R., Fernández-Pérez J., Nóvoa S., Méndez J., (2017). Microsatellite variation in *Donax trunculus* from the Iberian Peninsula, with particular attention to Galician estuaries (NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 197: 27-34.
- Ojeda V., Serra B., Lagares C., Rojo-Francàs E., Sellés M., Marco-Herrero E., García E., Farré M., Arenas C., Abelló P., Mestres F. (2022). Interannual fluctuations in connectivity among crab populations (*Liocarcinus depurator*) along the Atlantic-Mediterranean transition. *Scientific Reports*, 12: 9797.
- Oksanen J., Blanchet F.G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H.H., Szoecs E., Wagner H. (2016). *Vegan: community ecology package*. R package *vegan*, v. 2.4-0.
- Onay H., Bilgin S. (2021). Spatial and temporal distribution of *Liocarcinus depurator* (Crustacea: Decapod) caught by beam trawl in the southeastern Black Sea. *Marine Science and Technology Bulletin*, 10: 416-425.



- Pannacciulli F.G., Maltagliati F., de Guttry C., Achituv Y. (2017). Phylogeography on the rocks: The contribution of current and historical factors in shaping the genetic structure of *Chthamalus montagui* (Crustacea, Cirripedia). PLoS One, 12: e0178287.
- Papetti C., Zane L., Bortolotto E., Bucklin A., Patarnello, T. (2005). Genetic differentiation and local temporal stability of population structure in the euphausiid *Meganyctiphanes norvegica*. Marine Ecology Progress Series, 289: 225-235.
- Pascual M., Rives B., Schunter C., Macpherson E. (2017). Impact of life history traits on gene flow: A multispecies systematic review across oceanographic barriers in the Mediterranean Sea. PLoS One, 12: e0176419.
- Pascual M., Palero F., García-Merchán V.H., Macpherson E., Robainas-Barcía A., Mestres F., Roda T., Abelló P. (2016). Temporal and spatial differentiation in the crab *Liocarcinus depurator* across the Atlantic-Mediterranean transition. Scientific Reports, 6: 29892.
- Pérez-Losada M., Guerra A., Carvalho G., Sanjuan A., Shaw P.W. (2002). Extensive population subdivision of the cuttlefish *Sepia officinalis* (Mollusca: Cephalopoda) around the Iberian Peninsula indicated by microsatellite DNA variation. Heredity, 89: 417-424.
- Prego, C. (2011). De peso muerto a novedad culinaria. El Faro de Vigo, 4 octubre 2011.
- Ripple W.I., Wolf C., Newsome T.M., Barnard P., Moomaw W.R., Grandcolas P. (2020). World scientists' warning of a climate emergency. BioScience, 70: 8-12.
- Shields J.D. (2019). Climate change enhances disease processes in crustaceans: case studies in lobsters, crabs, and shrimps. Journal of Crustacean Biology, 39: 673-683.

Sala-Bozano M., Ketmaier V., Mariani, S. (2009). Contrasting signals from multiple markers illuminate population connectivity in a marine fish. *Molecular Ecology*, 18: 4811-4826.



# Diagnóstico de la producción de ostión *Crassostrea* spp. e impactos ecosistémicos en la región de Manzanillo, Cuba

## Diagnosis of oyster production *Crassostrea* spp. and ecosystem impacts in the fishing region of Manzanillo, Cuba

Juan José Suárez-Gamboa<sup>1</sup>, Abel Betanzos-Vega<sup>2</sup>,  
Gustavo Arencibia-Carballo<sup>2</sup>, Maximiliano Pérez Prohenza<sup>1</sup>,  
Jorge Tello Cetina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Empresa Pesquera Industrial de Granma (EPIGRAN). Carretera a Ciudad Pesquera. CP 87510. Manzanillo, Granma, Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle No. 503 entre 5ta Ave y Mar. Santa Fe. C.P. 19100. La Habana. Cuba.

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Mérida. Dpto. Química-Bioquímica, Laboratorio de Enzimología Marina. Av. Tecnológico km 4,5 s/n, CP 97118, Mérida, Yucatán, México.

Correspondencia Gustavo Arencibia-Carballo   garen04@gmail.com

Palabras clave |  
Golfo de  
Guacanayabo,  
gestión ambiental,  
pesquería,  
ostricultura.

**RESUMEN** | La producción de ostión en Cuba aumenta hacia el este, y los máximos de abundancia y captura se presentan en la zona costera cercana a la cuenca del río Cauto, en la región correspondiente al municipio Manzanillo, provincia de Granma. En esta región habitan el ostión de mangle antillano (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828), y el ostión americano (*Crassostrea virginica* Gmelin, 1791). Aunque la tendencia histórica ha sido al incremento, posterior a 2013 (853 t) la producción promedio anual disminuye a 307 t. Se realizó un diagnóstico de la pesquería de ostión y de la gestión ambiental de la pesca extractiva para determinar impactos ecosistémicos. Se identificaron como principales factores de impacto negativo, que inciden sobre las poblaciones de ostión y sus hábitats, el incumplimiento del periodo de veda, el manejo inadecuado de la pesca extractiva, y eventos de contaminación, que afectan los bienes y servicios ecosistémicos del manglar y reducen las

poblaciones de ostión. Se propone la ostricultura artesanal como alternativa pesquera sostenible y se proyectó un plan de producción de ostión para 2023-2030. Se estimó que la calidad ambiental de la región donde se desarrollan las especies de interés es adecuada para su desarrollo.

**Keywords |**  
 gulf of Guacanayabo,  
 environmental  
 management,  
 fisheries,  
 ostrich farming.

**ABSTRACT |** Oyster production in Cuba increases to the east, and the maximum abundance and catch occur in the coastal zone near the Cauto river basin, in the region corresponding to the Manzanillo municipality, Granma province. The West Indian mangrove oyster (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828), and the American oyster (*Crassostrea virginica* Gmelin, 1791) inhabit this region. Although the historical trend has been to increase, after 2013 (853 t) the average annual production decreases to 307 t. A diagnosis of the oyster fishery and the environmental management of extractive fishing was carried out to determine ecosystem impacts. The main factors of negative impact, which affect oyster populations and their habitats, were identified as non-compliance with the closed season, inadequate management of extractive fishing, and pollution events, which affect the goods and ecosystem services of the mangrove and reduce oyster populations. Artisanal oyster farming is proposed as a sustainable fishing alternative and an oyster production plan was projected for 2023-2030. It is estimated that the environmental quality of the region where the species of interest develop is adequate for their development.

## INTRODUCCIÓN

La abundancia de recursos pesqueros depende en muchos casos de la salud de los ecosistemas que utilizan en diferentes momentos de su ciclo de vida, estos ecosistemas son impactados por factores naturales y humanos, y pocas veces se considera su importancia por los beneficios que brindan en bienes y servicios ecosistémicos. El valor económico según funciones ecológicas que brindan los ecosistemas no es incluido en los análisis de costo beneficio de las actividades productivas pesqueras, y muchas veces no se contabilizan los costos ambientales por degradación, o beneficios por rehabilitación, de ecosistemas (Pearce y Turner, 1995; Díaz-Abreu *et al.*, 2018; Betanzos-Vega *et al.*, 2022).

La zona marina costera al este de la provincia de Granma, golfo de Guacanayabo, es hábitat permanente o de cría de diferentes especies marinas, algunas de interés comercial como los camarones (*Penaeus* spp), langosta (*Panulirus argus*), peces, y ostión (*Crassostrea* spp.), y ha sido objeto de estudios antecedentes relacionados con la evaluación de la calidad ambiental por su importancia en la abundancia de recursos pesqueros y de sus ecosistemas (Betanzos Vega et al., 2012; Pis et al., 2014; Arencibia Carballo et al., 2014, 2016, 2017).

Entre esos recursos pesqueros, los ostiones *C. rhizophorae* y *C. virginica* aportan entre el 10 y el 15% de la producción pesquera anual de la Empresa Pesquera Industrial de Granma (EPIGRAN), y se plantea que la tendencia al incremento de la captura total de ostión tiene relación con la inclusión en la captura comercial, posterior a 2006, del ostión *C. virginica* del río Cauto, sin descartar que la captura anual de ostión de mangle se incrementó desde 1980 hasta 2001, y ha mantenido una relativa estabilidad en años posteriores (Mazón-Suástegui et al., 2019).

En la cuenca del río Cauto se localizan fuentes potenciales de contaminación, en su mayoría con una alta carga orgánica en sus residuales, procedentes de sectores urbanos y productivos, sobresaliendo la agroindustria azucarera, que, en 2014, debido a un derrame accidental de aguas residuales provocó la muerte de varias toneladas de peces y ostiones (Betanzos- Vega et al., 2018).

Resultados recientes de la caracterización y evaluación de la calidad de las aguas y sedimentos de la zona marina costera al este de Granma, no indican afectación por contaminación de pesticidas, mercurio, e hidrocarburos (Álvarez-Vázquez et al., 2018), pero si por residuales industriales y urbanos con altas concentraciones de materia orgánica (MO), aunque en determinados periodos predomina la MO de origen marino (Arencibia Carballo et al., 2014, 2017; Bolaños-Álvarez et al., 2021).

EPIGRAN tiene como misión principal la captura de recursos pesqueros en la zona del golfo del Guacanayabo, actividad que comparte con la pesca comercial privada que hasta la fecha solo realiza actividad extractiva de peces.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el estado actual del recurso ostión y su aprovechamiento industrial en la región del golfo de Guacanayabo, en relación a la situación ambiental de sus hábitats.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

La zona de estudio se ubica en la zona marina costera de uso pesquero de la EPIGRAN, al este de la plataforma suroriental de Cuba, golfo de Guacanayabo, e incluye las lagunas costeras (Fig. 1); su costa es mayormente acumulativa, con sedimentos fangosos y fango-arenosos, con ríos permanentes y temporales, y vegetación litoral predominante de manglar donde se distribuyen de forma intermitente poblaciones de ostión de mangle *C. rhizophorae*.

El tramo desde el río Guá hasta la desembocadura del río Cauto ha mostrado históricamente una abundante población de ostiones, distribuidos con mayor densidad en el estero-laguna de Buey (20°27.724'N - 077°05.058'W) y en el sistema lagunar y río Cauto (20°31.765'N - 077°10.181'W). En el tramo final del río Cauto se encuentran los principales bancos naturales de ostión americano (*C. virginica*) denominado en Cuba ostión de fondo (Arencibia Carballo et al., 2016; Betanzos-Vega et al., 2020).

EPIGRAN, cuenta con dos unidades pesqueras: la Unidad Empresarial de Base (UEB) Manzanillo y la UEB Niquero (Fig.1), en comunidades (ciudades) portuarias de importancia económica y social, la UEB Manzanillo incluye en sus pesquerías la pesca extractiva de ostión.



Figura 1. Zona de estudio, se señalan los ríos y lagunas donde se ubican los principales bancos naturales de ostión (*Crassostrea* spp.) y se realiza su pesquería, en la costa oeste de la provincia de Granma.

### Metodología para el análisis de la pesquería de ostión

De la estadística pesquera de EPIGRAN, se obtuvieron datos de la captura bruta (t) de ostión total (*C. rhizophorae* + *C. virginica*), para análisis históricos (1959-2022) y de la situación actual de la pesquería (2013-2022); y según datos disponibles en la industria se calculó el rendimiento (%) en carne anual, relativo al porcentaje del peso en masa o carne de ostión obtenida para comercialización (peso húmedo), respecto al peso total de los lotes de ostión en su concha entregados a proceso industrial.

### Metodología para el análisis de la calidad y protección ambiental

Para determinar la calidad hidrológica de las zonas costeras con bancos naturales de ostión, se analizaron y procesaron datos registrados en diferentes periodos de monitoreo (mayo 2013, julio 2015, abril 2016, agosto 2017 y febrero 2022), con énfasis en el sistema lagunar del río Cauto y del estero-laguna de Buey, debido a una tradicional mayor abundancia. Se obtuvieron valores promedio de

parámetros hidrológicos estándar: temperatura del agua (°C), salinidad (UPS), concentración de oxígeno disuelto en mg/L y pH, variables que inciden y determinan la distribución y sobrevivencia del ostión (Betanzos-Vega et al., 2020). Los que fueron registrados con una sonda multiparamétrica HANNA HI 9829 con precisión de  $\pm 0.01$ . Datos de capacidad de embalse de aguas fluviales (represamiento) en la región, fueron obtenidos de información de la oficina provincial de Recursos Hidráulicos.

### Metodología para el diagnóstico de la gestión pesquera y ambiental

Se realizó un diagnóstico de la gestión ambiental según análisis de aspectos o variables de significación en la gestión pesquera de EPIGRAN, siguiendo los criterios de clasificación de la NC-ISO 14004 (2004). Una vez identificados los aspectos directamente vinculados a la gestión pesquera y ambiental de la empresa, se establecieron los criterios para la evaluación y determinación de los más significativos, sobre los que se debe prestar mayor atención en la gestión empresarial. Fueron seleccionadas seis variables (V), en base a los criterios de los documentos legislativos revisados, y teniendo en cuenta la incidencia o importancia de su impacto en la gestión ambiental, la biodiversidad, y en los recursos pesqueros:

- V1. Sobreexplotación pesquera.
- V2. No se respetan las tallas mínimas por especies.
- V3. Se violan las vedas.
- V4. Uso de artes de pescas inapropiadas.
- V5. Pérdida de la biodiversidad de alto valor comercial.
- V6. Contaminación de las aguas.

Para determinar el nivel de incidencia de estas variables sobre el bien ambiental a evaluar fueron establecidas las categorías de clasificación (0 – 4) según importancia de impacto, y el efecto queda reflejado numéricamente, de entre 0-3, en la matriz de importancia. El nivel de máxima incidencia es las que se encuentran en un rango de (10-15) en la suma de la evaluación de las variables (V).



El establecimiento de estas variables proporcionó su clasificación (NC-ISO 14004, 2004) en:

1. No incide.
2. Baja incidencia.
3. Mediana incidencia.
4. Alta incidencia.

### Metodología adaptativa para una pesquería ecosistémica. Alternativa de ostricultura.

Debido a que en la región no se realiza ostricultura, se analizó la viabilidad de introducir la ostricultura artesanal como alternativa de adaptación pesquera ecosistémica, con potencial para incrementar producción, ingresos y fuente de empleo, para lo cual se revisó literatura y se analizó la calidad ambiental de las zonas de bancos naturales con densidad aceptable ( $> 1 \text{ kg ostión/m}^2$ ) según metodología de Betanzos-Vega (2018). Se evaluaron registros históricos de semi-cultivo artesanal realizados en estero Buey, que a partir de la colocación de colectores suspendidos al manglar posibilitaron la colecta de larvas del medio natural e incrementos productivos (Arencibia-Carballo *et al.*, 2016).

Adicional, y en acuerdo entre la dirección de EPIGRAN y el Grupo Empresarial Pesquero del Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL), y con asesoría del Centro de investigaciones Pesqueras (CIP) de Cuba, se realizó una proyección anual (2023-2030) para el incremento de la producción de ostión, con énfasis en la ostricultura, y la reducción secuencial de su pesca extractiva.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El impacto ambiental a las zonas costeras donde se ubican las poblaciones naturales de ostión, se ha relacionado con varios factores antrópicos entre ellos la propia pesquería, que se basa en la recolecta de ostión de mangle de las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle* Linnaeus 1753) que bordea el litoral, y del ostión de fondo en el lecho de la desembocara del río Cauto estas acciones provocan disturbios en la zona costera donde se ubican los bancos naturales (Betanzos-Vega *et al.*, 2018), La pesca de ostión es una actividad netamente

extractiva en la región de Manzanillo, y el 55.2 % de los desembarques son de ostión de mangle silvestre y en su captura ocurre el corte o descortezado de ramas y raíces de mangle para acceder al ostión (Betanzos-Vega et al., 2022). El ostión de mangle (*C. rhizophorae*) está regulado en talla comercial (Resolución No. 126/2009), y el ostión americano (*C. virginica*) en talla y veda reproductiva (Resolución No. 79/2019).

La contaminación es otro factor de carácter temporal., y en la zona costera al este de Granma desembocan varios ríos, entre ellos el Cauto el más extenso de Cuba (343 km), que, aunque han beneficiado a los ecosistemas costeros, a la biodiversidad, y a la proliferación de las poblaciones de ostión, también generan eventos de turbidez por escurrimientos terrígenos y contaminación por el transporte de residuales agroindustriales y urbanos (Arencibia-Carballo et al., 2016; Betanzos- Vega et al., 2018). Sobre estos ríos se ha mantenido un monitoreo periódico debido a su aporte tradicional en aguas residuales y contaminantes a los ecosistemas marinos costeros (Arencibia Carballo et al. 1988; Amat-Infante et al., 2022).

El aprovechamiento de recursos naturales deberá estar sujeto a tres ejes de sostenibilidad, ambiental, social y económica, que generalmente se relacionan entre sí, por lo que es imprescindible un uso amigable con el medio ambiente, que no comprometa la biodiversidad, ni la disponibilidad de estos recursos para las futuras generaciones (Arce-Ibarra y Armijo-Canto, 2011). Por tal razón se analiza la situación ambiental y la actividad pesquera del recurso ostión en la región, debido a su importancia ecológica, al ser un organismo biofiltrador que actúa como depurador natural de las aguas costeras, y a su valor económico y social, debido a que su consumo tiene una fuerte tradición local y su pesquería aporta ingresos económicos, personales y empresariales.

En el análisis histórico (1959-2022) de los desembarques de ostión total (Fig. 2) de la EPIGRAN, denotan una tendencia creciente en los volúmenes anuales de ostión en concha con máximos en 2012 (648 t) y 2013 (853 t); esto coincide con el criterio de Mazón-Suástegui et al., (2019) de que la provincia de Granma es la de mayor producción de ostión en Cuba y mantiene una relativa estabilidad, en contraste con los históricos del resto de las provincias que en Cuba se dedican a la pesquería y/o al cultivo de ostión, que tienden a la disminución. Sin embargo,

un análisis de los últimos 10 años (2013-2022) denota una reducción secuencial de la captura bruta de ostión en Granma posterior a 2017 (Figura 2; Tabla 1)

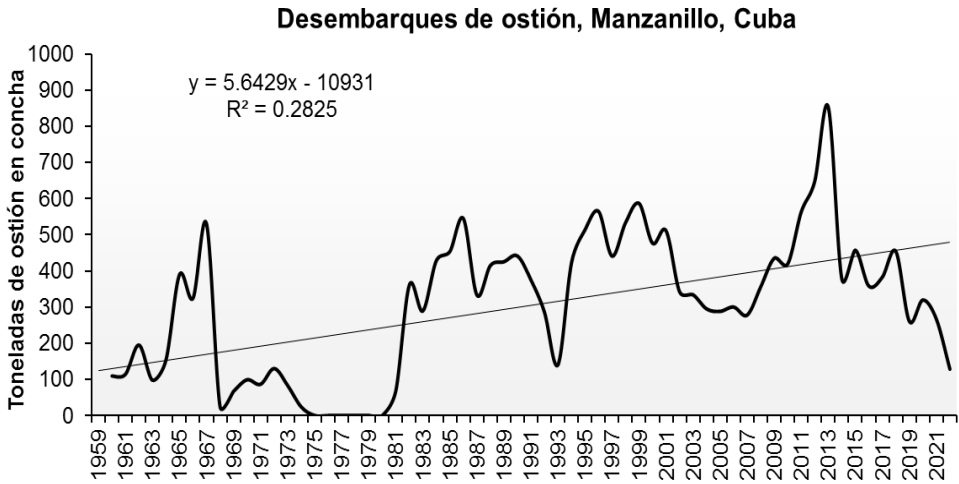


Figura 2. Variabilidad interanual y tendencia de los desembarques de ostión (*Crassostrea* spp.), de la provincia de Granma.

Tabla 1. Datos de captura (t) total de ostión (*Crassostrea* spp.) en concha y desviación estándar (DE±), captura bruta de ostión de mangle (*C. rhizophorae*) y de ostión de fondo (*C. virginica*) de la empresa pesquera de Granma (2013-2022).

Año	Total	O. de mangle	O. de fondo
2013	853,2	337,2	516,0
2014	378,3	262,3	116,0
2015	258,3	179,3	79,0
2016	263,7	238,7	25,0
2017	382,9	146,7	236,3
2018	326,2	299,2	27,0
2019	260,5	190,0	37,0
2020	319,6	98,4	221,3
2021	266,4	75,8	190,6
2022	128,2		
Media	343,7	203,1	160,9
DE±	183,4	83,7	147,9
Máximo	853,2	337,2	516,0
Mínimo	258,3	75,8	25,0

La disminución de la captura en 2014 (Tabla 1) se justifica con una sobreexplotación del ostión de mangle y de fondo en 2013, en sinergia con un evento de contaminación en 2014 en el hábitat del ostión de fondo, con afectación en la abundancia (Betanzos-Vega et al., 2020), pero las variaciones anuales posteriores sugieren un agotamiento de la biomasa en ambos recursos, con una alternancia en los máximos de captura según especies, al observarse que en años con capturas superiores a 150 t de *C. rhizophorae* se corresponden capturas inferiores a 100 t de *C. virginica*, y viceversa.

Según diagnóstico de la pesquería, y a partir de criterios de pescadores y pobladores del río Cauto, se conoció que, indistintamente, desde 2010, barcos de varias empresas pesqueras provinciales: Granma (Manzanillo), Las Tunas (Guayabal), Camagüey (Santa Cruz del Sur), y en ocasiones de Santiago de Cuba y Guantánamo), han realizado pesca extractiva de ostión de fondo (*C. virginica*) en el río Cauto, y en ocasiones de ostión de mangle (*C. rhizophorae*). La suma de la captura anual de *C. virginica*, según datos pesqueros de las UEB de Manzanillo (Granma) y UEB de Guayabal (Las Tunas) ascienden a más de 400 t anuales en 2020 y 2021, sin contabilizar las capturas de las otras empresas implicadas, y se realiza pesca extractiva todos los meses del año. Según Resolución No. 79. (2019), únicamente las UEB de Manzanillo y Guayabal, están autorizadas a la pesca extractiva de ostión de fondo (*C. virginica*) en el río Cauto, con cuota de captura máxima permisible de 320 t anuales, a dividir por acuerdo a partes igual, y veda reproductiva del recurso por tres meses, que no se cumple.

### Diagnóstico ambiental

En general todos los parámetros hidrológicos evaluados mostraron promedios de calidad aceptable en la zona costera de estudio según la NC-25 (1999). La temperatura media anual del agua para el golfo de Guacanayabo se señala en 28.9 °C, y para el periodo invernal (diciembre-febrero) en 25.4 °C (Fernández-Vila et al., 2010), aunque en el muestreo de febrero 2022, la media registrada (26.6 °C) fue superior a la media histórica de invierno. La salinidad promedio histórica para el golfo de Guacanayabo es de 36.5 UPS, la máxima promedio de 38.9 UPS, y de 32.5 UPS la mínima promedio del golfo (Fernández-Vila et al., 2010), valores que se

han mantenido en el tiempo, aunque en el muestreo de febrero 2022 fue ligeramente superior (36.6 UPS).

La situación ambiental en las lagunas costeras y esteros de la región, donde se ubican los principales bancos ostrícolas, es relativamente diferente, la salinidad promedio ha sido inferior a 35 UPS, pero en agosto 2017 y febrero 2022 se observó una salinidad máxima > 37 UPS, en las lagunas del Cauto y de Buey, con promedio mayor que 36 UPS (Tabla 2). En general, la calidad hidrológica en las lagunas del Cauto (Jutía-Carena), vinculadas a la cuenca del río Cauto, cumplieron con los requerimientos ambientales del ostión de mangle (Betanzos-Vega *et al.*, 2020), y con la calidad hidrológica según la norma para uso pesquero (NC-25, 1999), aunque hay que tomar precaución en los meses secos, y promover el uso de descargas ecológicas de aguas fluviales represadas. En contraste, la laguna estero de Buey mostró valores de oxígeno disuelto de Calidad Dudosa (NC-25, 1999) (Tablas 2), y se evidencia, en este cuerpo de agua, un deterioro de la calidad en agua y sedimentos en comparación con períodos anteriores debido a contaminación orgánica con Mala Calidad según demanda química de oxígeno (DQO) y nitrógeno amoniacal (Arencibia-Carballo *et al.*, 2016). La carga total contaminante que recibe el río Cauto ha sido calculada entre 1 039 y 3 283 toneladas de DBO<sub>Total</sub>/año (Díaz Fonseca *et al.*, 2004), aunque se realizan esfuerzos para su reducción.

Tabla 2. Valores promedio por parámetros hidrológicos evaluados en las lagunas Jutía-Carena, y de Buey, zonas tradicionales de alta abundancia de ostión.

Zonas	Temperatura del agua (°C)					Salinidad (ups)				
	2013	2015	2016	2017	2022	2013	2015	2016	2017	2022
Jutía-Carena	28,2	30,7	28,4	26,02	26,8	33,9	34,7	35,0	36,2	36,7
Buey	28,4	30,8	28,7	26,87	26,6	34,5	30,3	34,3	33,9	36,5

Zonas	Oxígeno disuelto (mg/l)					pH				
	2013	2015	2016	2017	2022	2013	2015	2016	2017	2022
Jutía-Carena	5,8	4,7	4,8	4,5		8,1	8,1	8,1	8,0	8,1
Buey	4,4	3,9	4,1	3,9		7,9	7,9	8,0	7,9	8,1

Las lagunas y esteros de la región, son áreas de cría de camarones y peces, y donde se ubican los bancos de ostión de mayor abundancia (Arencibia-Carballo et al., 2016). Las variaciones de la abundancia de los recursos pesqueros también tiene relación con la disponibilidad de agua dulce y la salinidad, variables que se han afectado por represamiento de los principales ríos de la región (Fig. 3) que genera una mayor concentración de materia orgánica, y nutrientes, debido a la disminución del caudal de aguas fluviales (Batista, 2002; Betanzos-Vega et al., 2012), que en meses poco lluviosos provoca un déficit de agua dulce en lagunas y esteros, y limita el intercambio con el golfo de Guacanayabo. Estando la capacidad útil de los embalses al 94 % de la capacidad total en hm<sup>3</sup> de llenado en los embalses de la provincia Granma (Boletín hidrológico, 2021).

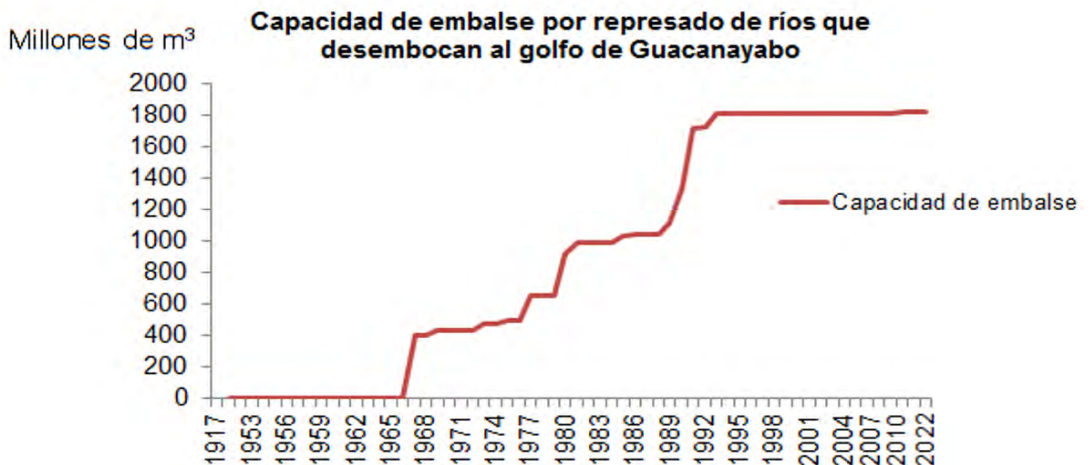


Figura 3. Capacidad anual de aguas embalsadas (hm<sup>3</sup>) por represamiento fluvial de los principales ríos de la región al este de la provincia de Granma.

El represamiento reduce los aportes de escorrentía necesarios para mantener las condiciones de las aguas en los ecosistemas costeros; en esos sistemas acuáticos semi-cerrados (lagunas y esteros), el intercambio de aguas se relaciona con el balance hídrico y de sales conforme al principio de conservación de masa (Kjerfve et al., 1996). La salinidad residual  $SR = ([S1+S2]/2)$ , que no es más que el promedio de las salinidades dentro ( $S1$ ) y fuera del cuerpo lagunar ( $S2$ ), permite estimar para lagunas costeras y esteros el tipo de circulación (estuarina, neutra o antiestuarina) en un momento dado (Betanzos-Vega y Romero López, 2020). La

diferencia de salinidad entre el mar costero (golfo de Guacanayabo) y las lagunas del Cauto y de Buey, indicaron para agosto 2017 y febrero 2022 una situación de anti-estuarinidad por balance de sales, debido a mayor salinidad en las lagunas que en el mar adyacente. La dirección del flujo de agua superficial se estimó desde el mar hacia las lagunas, lo que según Betanzos-Vega y Romero López (2020) genera una mayor salinidad al interior del sistema para compensar pérdidas de agua dulce por evaporación, déficit de precipitación y represamiento fluvial, lo que afecta la distribución del ostión, el transporte de larvas de ostión (deriva larval), y su sobrevivencia.

### Gestión pesquera y ambiental

Los resultados del análisis de la evaluación de la gestión ambiental, muestra el nivel de importancia según valoración o clasificación del impacto ambiental, por variables, y su interrelación con el resto de las variables evaluadas (Tabla 3), lo que permitió determinar las problemáticas que más inciden en los ecosistemas costeros de influencia de la gestión pesquera de EPIGRAN, y asociados al hábitat del ostión.

Tabla 3. Factores incidentes del manejo del recurso ostión sobre los criterios de pesca y protección del recurso.

No.	Descripción de las variables.	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Total
V1	Sobreexplotación pesquera.	0	3	2	3	3	2	13
V2	Incumplimiento de tallas mínimas.	3	0	2	3	2	1	11
V3	Incumplimiento de vedas.	2	3	0	3	3	3	14
V4	Métodos y artes de pescas inapropiados.	2	3	1	0	2	1	9
V5	Afectación a la biodiversidad.	2	3	2	2	0	3	12
V6	Contaminación de las aguas.	3	2	1	2	1	0	9
Total		12	14	8	13	11	10	68

El resultado, según puntuación total, derivado de la evaluación de la gestión ambiental de la actividad pesquera, en su accionar sobre el ecosistema y del recurso pesquero, muestra que la principal incidencia radica en la violación de las vedas (14), la sobreexplotación pesquera (13), con afectación a la biodiversidad (12), con repercusión en otros recursos pesqueros de alto valor comercial (Tabla 2).

Referido al ostión, durante el periodo 2013-2022, se identificaron prácticas inadecuadas de gestión ambiental en el manejo pesquero en la actividad extractiva de ostión: corte y descortezado de raíces de mangle para acceder al ostión de mangle, capturas muy superiores a la planificada con efecto de sobreexplotación en 2013, cambio en el uso de artes o métodos de pesca en ostión de fondo (*C. virginica*), de recolecta manual en apnea al uso de buceo con aire comprimido "narquilex", que incrementó el esfuerzo pesquero, captura de ejemplares por debajo de la talla comercial de 40 mm y 60 mm de largo anteroposterior en *C. rhizophorae* y *C. virginica*, respectivamente. En la pesquería de *C. virginica*, se incumple la veda reproductiva y la cuota máxima de captura.

Durante el periodo de estudio (2013-2022), se identificaron problemas de eutrofización de las aguas marinas en la dársena del puerto pesquero industrial de EPIGRAN (zona incluida dentro de un área protegida costera de categoría de Refugio de Fauna), por residuales líquidos del proceso industrial, lo que se ha sido reportado como causa de eventos de Bloom de microalgas (Moreira-González et al., 2021). Adicionalmente ocurren impactos ocasionales de contaminación orgánica procedente de fuentes provinciales agroindustriales y urbanas (Pis et al., 2014; Arencibia-Carballlo et al., 2016; Betanzos-Vega et al., 2020).

Resultado del monitoreo se observó que no se reciclan las conchas vacías de ostión, descartadas del proceso industrial, ni para la confección de colectores de la ostricultura, ni para la obtención de carbonato de calcio para comercialización. Ni se devuelven al hábitat del ostión de fondo en sitios donde se haya perdido sustrato, para ofrecer un fondo compacto para futuras fijaciones de ostrillas, y con ello aliviar los desechos por descarte de las conchas en la empresa.

### La ostricultura como alternativa pesquera adaptativa de protección a ecosistemas

En las zonas pesqueras de Granma, la producción de ostión proviene de la pesca extractiva (recolecta de ostión silvestre), y no ocurre ninguna práctica de cultivo a pesar del potencial por ostricultura (Betanzos-Vega et al., 2020). Teniendo en cuenta los datos de captura bruta de ostión total es de promedio anual de 280 t, para los 3 años (2019-2021), y según el plan de producción de ostión fijado para 2022 (250 t), se proyectó un incremento anual por vía de la ostricultura, para



cumplir con una producción de 330 t de ostión para 2025, de las cuales 70 t serían por cultivo artesanal) y de 400 t para 2030, de las cuales 140 t deben provenir del cultivo artesanal de ostión.

La proyección, por pesca extractiva y cultivo, se basa en aumentar la producción de ostión sin incrementar la presión pesquera sobre los bancos silvestres, y se indica la cantidad de colectores necesarios según un rendimiento promedio de 2.8 kg de ostión por colector, para cumplir con la producción proyectada por ostricultura (Tabla 4). Se tuvo en cuenta para los volúmenes anuales por pesca extractiva, la cuota máxima permisible de captura de ostión de fondo (160 t), y una pesca extractiva de ostión de mangle silvestre no superior a 100 t, cifra está inferior a la captura promedio anual (2013-2022) de ostión de mangle (200 t).

Tabla 4. Proyección de producción ostrícola para 2023, 2025 y 2030, según ostión silvestre y de cultivo (EPIGRAN).

EPIGRAN	2023 (t)	No. colectores	Kg/ colector	2025 (t)	No. colectores	Kg/ colector	2030 (t)	No. colectores	Kg/ colector
Total	271			330			400		
Ostión Silvestre	251			260			260		
Ostión de cultivo	20	7333	2,8	70	25667	2,8	140	51333	2,8

Los sitios actuales con potencial para desarrollar la ostricultura en la provincia son:

- 1) Ensenada de Guá, 2) lagunas Jutía, Carena, Tablones ubicadas en el Cauto, 3) río Cauto desde el desvío hasta su desembocadura; 4) laguna de Portillito en Marea del Portillo, Pilón, al sur de la provincia.

A pesar de la relativa estabilidad de la pesquería de ostión en la región, entre 1981 y 2018, los métodos de pesca extractiva no amigables con el ecosistema de manglar, los eventos temporales de contaminación, el incumplimiento de la veda y de las tallas mínimas, y sobre todo la sobrepesca de ostión de fondo *C. virginica* debido a su acceso libre por empresas no autorizadas, han tenido responsabilidad

en la disminución anual de la captura de ostión posterior a 2018, lo que puede provocar un agotamiento o sobrexplotación de este recurso natural, con consecuencias económicas y sociales para las comunidades pesqueras de la región. Por lo que el cumplimiento de las regulaciones pesqueras y el desarrollo de la ostricultura como alternativa pesquera sostenible, son una necesidad para una adaptación pesquera sostenible

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estado actual del recurso ostión está afectado por las violaciones del incumplimiento de tallas mínimas y el incumplimiento de vedas como factores fundamentales. Se considera adecuado el ecosistema como hábitat de la especie.

El plan propuesto para aumentar los niveles de producción de ostión para 2023-2030 se sustenta en el cultivo del ostión clasificando como una ostricultura artesanal alternativa de pesquería sostenible.

## REFERENCIAS

- Álvarez-Vázquez, M., Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega, A., Formoso García, M. & Tripp-Quezada, A. (2018). Pesticide evaluation in water, sediment and in oyster shells (*Crassostrea rhizophorae*) in the Manzanillo - Niquero coastal area, Cuba. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(5), 2456-1878
- Amat-Infante, P. D., Pierra Conde, A., Casals Blet, I. & Vázquez Abella, D. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo. *Rev. Soc. Química de México*, 46 (4), 357-361.
- Arce-Ibarra, A.M. y Armijo-Canto, N. (2011). Uso y manejo de los recursos naturales. En: C. Pozo, N. Armijo-Canto y S. Calmé (Eds), *Riqueza biológica de Quintana Roo: un análisis para su conservación*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones-México. México, D.F. pp. 112-114.

- Arencibia Carballo, G., Isaac, M. & González, H. (1988). Distribución de metales en sedimentos costeros del golfo de Guacanayabo. *Revista Cubana de Química*, 4(3): 39-45.
- Arencibia Carballo, G., Sánchez Álvarez, F. & Seisdedo Losa, Mabel. (2014). Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de la zona costera del golfo de Guacanayabo, Cuba. *Bol. Cient. CIOH*, 32: 17-25
- Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega, A., Morales, J. M. & J. M. & Mazón-Suástegui. (2016)., 33(1): 30-36
- Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega A., Pérez Prohenza M., Ocano Busia C.A., Rodríguez Gil, A. & Tripp-Quesada A. (2017). Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de la zona costera de Campechuela – Niquero, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 34(2): 68-73
- Batista, J. L. (2002). Utilización actual de los recursos hídricos y calidad ambiental. *Revista Internacional de Geomática y Ciencias de la Tierra, Mapping*, 76, 88–94.
- Betanzos Vega, A., Garcés, Y., Delgado, G. y Pis, M. A. (2012). Variación espacio-temporal y grado de eutrofia de sustancias nutrientes en aguas de los golfos de Ana María y Guacanayabo, Cuba. *Revista Marina y Costera*, 4: 117-130.
- Betanzos-Vega, A. (2018). Diseño y operación de granjas de ostricultura artesanal. Metodología Cubana. En A. Betanzos-Vega., J. M. Mazón Suástegui y G. Arencibia Carballo (Eds.), *La Ostricultura: una alternativa de desarrollo pesquero para comunidades costeras en Cuba*. pp 73-101. Universidad Autónoma de Campeche, México. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/11/OSTR-Cuba-1.pdf>
- Betanzos-Vega, A.; Mazón-Suástegui, J. M.; Puga, R., Avilés-Quevedo, M. A. & Formoso, M. (2018). Estado del recurso ostra americana *Crassostrea virginica* (Mollusca: Ostreidae) en el río Cauto, Cuba. *Bio Ciencias* 5, 17 pp. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.05.2018.06>
- Betanzos-Vega, A., Arencibia-Carballo, G., Latisnere-Barragán, H. and Mazón-Suástegui, J. M. (2020). Influencia de factores ambientales y antrópicos en la población de ostión *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae), en río Cauto,

Cuba. Revista Mexicana de Biodiversidad, 91 2020: e912843.  
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2843>

Betanzos-Vega, A., Tripp-Quezada, A., Macías-Aguilera, E., Leyva-Segura, A., Arencibia-Carballo, G., Mazón-Suástegui, J.M. (2022). Valorando bienes y servicios ambientales (BSA) del manglar en la ostricultura artesanal: Las Tunas, Cuba. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): e2829.  
<https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2829>

Bolaños-Álvarez, Y.; Arencibia-Carballo, G.; García Moya, A; Betanzos-Vega, A; Cos-Negret, K.; Alonso-Hernández, C. M. (2021). Distribución del mercurio y composición isotópica de la materia orgánica en sedimentos superficiales del golfo de Guacanayabo, Cuba. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras, 38(1): 27-33

Boletín hidrológico. (2021). Análisis de lluvias, embalses y acuíferos.  
<https://www.hidro.gob.cu/sites/default/files/INRH/Publicaciones/BoletinHidrologico020212009.pdf>

Díaz-Abreu, D. M, González-Mejías, Y. Pérez-Fernández, R. (2018) Bienes y servicios ecosistémicos. Estudio de caso: Valoración económica de reserva ecológica bahía Nuevas Grandes - La Isleta. Las Tunas. Cuba. Revista Digital de Medio Ambiente, 52: 1-26.

Kjerfve, B., Schettini, C. A. F., Knoppers, B., Lessa, G. and Ferreira, H. O. 1996. Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoon de Araruama, Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 42: 701–725.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/b3e7/3f9318a9b19d91dbc3f75f9e8991b06d213a.pdf>

Moreira-González, A. R., Alonso- Hernández, C. M., Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega, A., Morton, S. L. & Richlen, M. L. (2021). First report of an *Ansanella granifera* bloom in Cuban waters, Caribbean region. *Harmful Algae News*, 67. [www.ioc-unesco.org/hab](http://www.ioc-unesco.org/hab)

Mazón-Suástegui J.M., Betanzos-Vega A., Isla-Molleda M., Alzugaray-Martínez R., García-Bernal M., Avilés-Quevedo, A. (2020). Training for aquaculture and fishery activities for the conservation and sustainable use of biodiversity. Chapter 14, pp. 273-296. In: A. Ortega-Rubio (ed.). Socio-ecological Studies in Natural Protected Areas. Springer Nature Switzerland AG. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47264-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47264-1_14)

NC-25. (1999). Norma Cubana. Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetos hidricos de uso pesquero, 12 p.

NC ISO 14004. (2004). Norma Cubana. Sistemas de gestión ambiental. "Sistema de Gestión Ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo.

Pearce, D, Turner K. (1995). Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Celeste Ediciones. 448 p.

Pis, Ma. A., Delgado, G., Hernández, D., Díez, J., Martínez, Y., Hernández, A., Rico, O. (2014). Contaminantes químicos en agua, sedimento y camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* del golfo de Guacanayabo. Revista electrónica de Veterinaria 15(2). ISSN 1695-7504.

Resolución No. 126. (2009). Tallas mínimas para especies marinas comerciales. Asesoría Jurídica del Ministerio de la Industria Alimentaria. La Habana, Cuba. Resolución No. 126 de 2009.

Resolución No. 79. (2019). Regulaciones para "Ostión de Fondo" *Crassostrea virginica* en Cuba. Asesoría Jurídica del Ministerio de la Industria Alimentaria. La Habana, Cuba, Resolución No. 79 del 5 de septiembre de 2019.



# Diversidad genética del erizo de mar gallego y su aplicación en la conservación. OURIXEN

## Genetic diversity of the Galician sea urchin and its application in conservation. OURIXEN

J. Quinteiro<sup>1</sup>, N. González-Henríquez<sup>1</sup>,  
L. Quinteiro<sup>1</sup>, P. Cuiñas Olmedo<sup>2</sup>,  
J. Ojea Martínez<sup>2</sup>, C. Gabín-Sánchez<sup>2</sup>,  
M. Rey-Méndez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio SISMOL, Departamento de Bioquímica e Bioloxía Molecular, Facultade de Bioloxía/Instituto de Acuicultura. Campus Vida, Universidade de Santiago de Compostela 15782-Santiago de Compostela (A Coruña, Galicia, España).

<sup>2</sup>Centro de Investigacións Mariñas (Xunta de Galicia), Pedras do Corón s/n, Apartado de Correos 13, 36620 Vilanova de Arousa (Pontevedra, Galicia, España).

Correspondencia Manuel Rey-Méndez  [manuel.rey.mendez@usc.es](mailto:manuel.rey.mendez@usc.es)

Palabras clave |  
*Paracentrotus lividus*,  
SNPs,  
repopulación,  
sobreexplotación.

**RESUMEN** | La pesquería de erizos de mar es una actividad rentable pero vulnerable a la sobreexplotación debido al lento crecimiento de los individuos, la relativa dificultad de recolonizar algunos de los hábitats y la relación entre la densidad de erizos adultos y el reclutamiento de nuevos especímenes. Una de las principales preocupaciones de la repoblación es analizar el impacto de la liberación al medio de los individuos obtenidos en criadero, por lo que este proyecto pretende evaluar la diversidad genética en las poblaciones naturales de Galicia, utilizando marcadores de alta resolución (SNPs), de modo que pueda ser utilizado para su aplicación en la definición de una estrategia fundamentada para las actividades de reproducción y mejora del recurso, así como el mantenimiento de la mayor riqueza en diversidad genética, para garantizar la resiliencia del recurso a través de las tareas de repoblación.

## Keywords |

*Paracentrotus lividus*,  
SNPs,  
repopulation,  
overexploitation.

**ABSTRACT |** The sea urchin fishery is a profitable activity but vulnerable to overexploitation due to the slow growth of individuals, the relative difficulty of recolonizing some of the habitats and the relationship between the density of adult urchins and the recruitment of new specimens. One of the main concerns of repopulation is to analyze the impact of the release of individuals obtained from hatcheries into the environment, which is why this project aims to evaluate the genetic diversity in the natural populations of Galicia, using high resolution markers (SNPs), so that it can be used for application in the definition of a founded strategy for the activities of reproduction and improvement of the resource, and the maintenance of the greatest richness in genetic diversity, as a guarantee of the resilience of the resource through the tasks of repopulation.

## INTRODUCCIÓN

La pesquería de erizos de mar es una actividad rentable (Fig. 1) pero vulnerable a la sobreexplotación debido al lento crecimiento, la relativa dificultad de recolonizar algunos de los hábitats y la relación entre densidad y reclutamiento. El rango geográfico de las metapoblaciones de erizos de mar tiene escalas muy diversas, como consecuencia de los factores hidrodinámicos, biológicos y ecológicos que las definirían. La falta de una delimitación fiable, con base biológica, supone dificultades para definir las unidades de gestión y el consiguiente colapso de las micropoblaciones (Ouréns *et al.*, 2015). La situación crítica de los stocks naturales es común a diversas áreas dentro del rango de distribución atlántico y mediterráneo (Boudouresque y Verlaque, 2020), lo que llevó a la formulación de iniciativas de repoblación con la evaluación de la diversidad genética, y el uso de marcadores genéticos para evaluar el reclutamiento (Couvray *et al.*, 2015). Un requisito fundamental es la homogeneidad genética de la población fuente y receptora, que debe ser evaluada y definida a priori.

El desconocimiento de los niveles actuales de diversidad genética y su estructura, en una especie en situación precaria, siempre es un riesgo (Ouréns *et al.*, 2015), pero también lo es el uso de medidas paliativas, como la repoblación, sin un conocimiento y estrategia detallada. Podemos asumir que la repoblación

realizada a partir de algunos progenitores y su descendencia mantiene la diversidad genética presente en el ambiente. El problema es si eso no sucede. En *Paracentrotus lividus*, se encontró que las poblaciones obtenidas en criaderos (CIMA y Dunmanus Seafoods) son menos diversas desde el punto de vista genético, con un tamaño poblacional efectivo menor, más endogámicas y divergentes en comparación con sus vecinos del medio natural (Segovia-Viadero et al., 2016).

a) Producción erizos Galicia: 880 tons/año; 7,5 millones € en primera venta (sin contar beneficios de procesamiento posterior); 595 mariscadores/as.

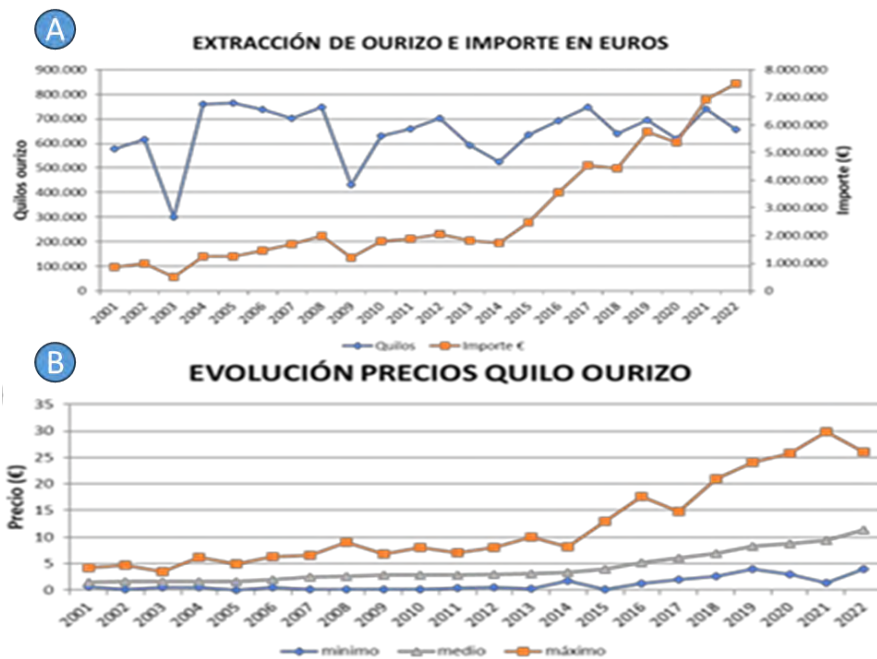


Figura 1. a) cantidad anual de erizos de mar recogidos en Galicia, valor en primera venta (€) y empleo; b) evolución (2001-2022) de la extracción anual e importe; c) evolución (2001-2022) precio/kg.



Una estimación correcta de la conectividad entre los diferentes niveles de organización poblacional, desde parches hasta costas continentales, se obtiene estudiando la estructura genética de la población utilizando marcadores resolutivos. Así, a nivel de cuencas se ha constatado el aislamiento entre las cuencas mediterránea y atlántica (Durán *et al.*, 2004; Maltagliati *et al.*, 2010; Penant *et al.*, 2013; Calderón *et al.*, 2008). Dentro de la cuenca mediterránea, se ha estimado el aislamiento de la población en el Adriático (Maltagliati *et al.*, 2010) y la costa libanesa (Penant *et al.*, 2013). En un rango geográfico más pequeño, se estimó la diferenciación entre poblaciones cercanas de la costa mediterránea francesa (Coupé *et al.*, 2011).

Considerando un amplio rango geográfico en la cuenca atlántica, se obtuvieron resultados contradictorios, ligados al uso de marcadores con diferente resolución. Mientras que un análisis con múltiples marcadores nucleares RAPDs, indica una diferenciación significativa entre poblaciones atlánticas del noroeste peninsular y poblaciones de Canarias (Rey-Méndez *et al.*, 2009), el uso de secuencias COX1 no permitió detectar diferenciación entre las poblaciones atlántico-continentales de las insulares canarias (Tourón *et al.*, 2018). En consecuencia, las recomendaciones de los dos trabajos sobre la translocación de individuos continentales a Canarias son opuestas, con consecuencias críticas para la gestión y conservación de la diversidad genética de la especie. Esto pone de relieve la necesidad de utilizar marcadores resolutivos ajustados a los objetivos planteados.

Por el contrario, se obtuvieron discrepancias para las poblaciones mediterráneas del Adriático y del Jónico. Los datos del citocromo b indicaron una diferenciación Adriático-Jónica (Maltagliati *et al.*, 2010), en contraste con los datos de homogeneidad obtenidos por los marcadores SNP, más resolutivos (Paterno *et al.*, 2017). En este caso la discrepancia está asociada a un tamaño muestral limitado que da lugar a un sesgo en los haplotipos del trabajo basado en el citocromo b.

Para los estudios del erizo, *P. lividus*, los marcadores utilizados fueron: i) secuencias mitocondriales COX1 (Durán *et al.*, 2004; Calderón y Turón, 2010; Calderón *et al.*, 2012; Penant *et al.*, 2013), citocromo b (Maltagliati *et al.*, 2010), 16S rDNA (Calderón *et al.*, 2008), ii) intrones nucleares: ANT (Calderón *et al.*, 2008),

calpaina (i21) (Penant et al., 2013), SSR (Calderón et al., 2009), ISSR espaciadores (Coupé et al., 2011), marcadores nucleares anónimos RAPD (Rey-Méndez et al., 2009) y SNP (Paterno et al., 2017). Este último es el tipo de marcadores que se propone utilizar en este proyecto, debido a su alta resolución respecto a otros marcadores mencionados anteriormente, y a la resistencia a suposiciones sobre su dinámica evolutiva, selectiva o de transmisión, que afecta a los marcadores mitocondriales.

Además de la variación a nivel espacial, se estimó la variación a nivel temporal entre cohortes anuales consecutivas, comprobándose muy poca diferenciación a lo largo de tres años, muy inferior a la observada entre las muestras geográficas mediterráneas analizadas (Calderón et al., 2009; Calderón y Turón, 2010; Calderón et al., 2012). Sin embargo, también quedó claro que eventos específicos pueden alterar la composición genética de una población debido a la incorporación de nuevos genotipos, mediada por la modificación de las corrientes y el posterior transporte larval (Calderón et al., 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El último ensamblaje del genoma de *Paracentrotus lividus* contiene alrededor de 0,93 GB en 3747 scaffolds. Estos datos se utilizan para diseñar la metodología ddRAD más eficiente, considerando el número de individuos a analizar en el marco de este proyecto y la capacidad de secuenciación en la plataforma Illumina. Esta información es básica para el desarrollo de la metodología RAD propuesta (Baird et al., 2008; Peterson et al., 2012; Puritz et al., 2014), consistente en el análisis de una representación reducida para el genoma de cada individuo y la definición de un conjunto de SNP para su uso en análisis de diversidad genética. Es una metodología ya utilizada con éxito en *P. lividus* (Paterno et al., 2017), y aplicada en estudios genéticos y de conservación por el equipo involucrado en esta propuesta (Quinteiro et al., 2022).

El muestreo se diseñó para recolectar 30 individuos (de distintos tamaños y zonas) de erizo de mar, *Paracentrotus lividus*, por cada una de las cofradías participantes (12), dos zonas de repoblación, dos productoras de semillas y una de Canarias (grupo externo). Estas muestras serán las destinadas al aislamiento de

ADN total a través de la "linterna de Aristóteles" en el aparato bucal, conservadas en etanol/RNAIater, y refrigeradas o congeladas hasta su uso en el laboratorio, que se realizará mediante el kit E.Z.N.A Mollusc DNA (Omega Biotech), apto para diversas especies de invertebrados. El ADN aislado se caracterizará y cuantificará electroforéticamente para verificar su idoneidad para la metodología de análisis genómico propuesta.

## RESULTADOS

El total de erizos obtenidos de las cofradías participantes, criaderos y muestreos externos, fue de 640 individuos, los cuales fueron documentados minuciosamente, con fotografías digitales, ubicación, sexo y mediciones (Fig. 2, 3 y 4).

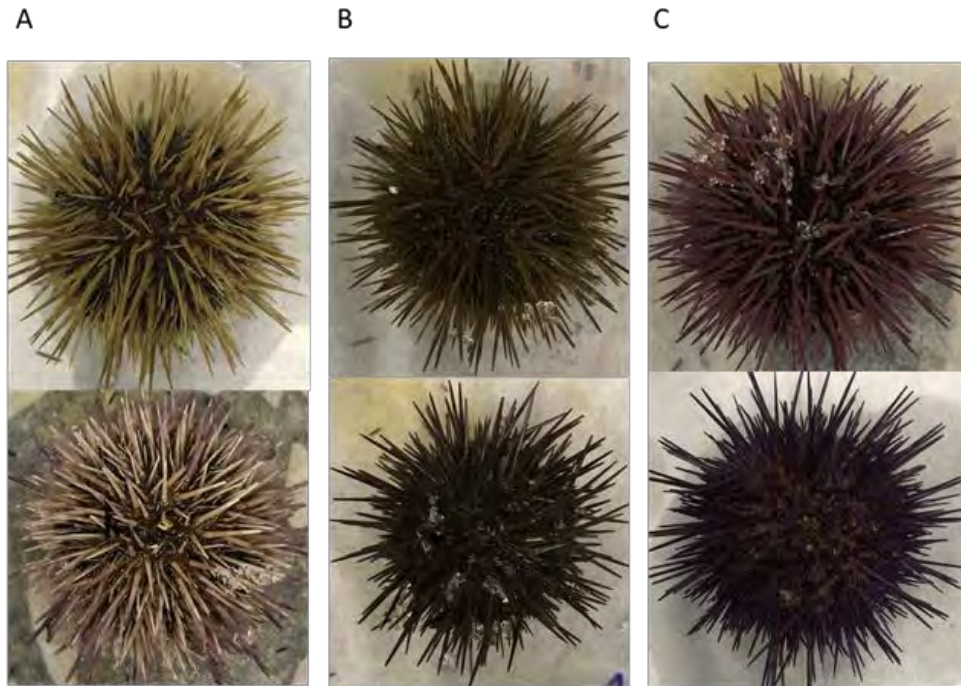


Figura 2. Variaciones cromáticas en los individuos recogidos en el muestreo: A) tonalidades claras, B) tonalidades verdosas, C) tonalidades moradas.

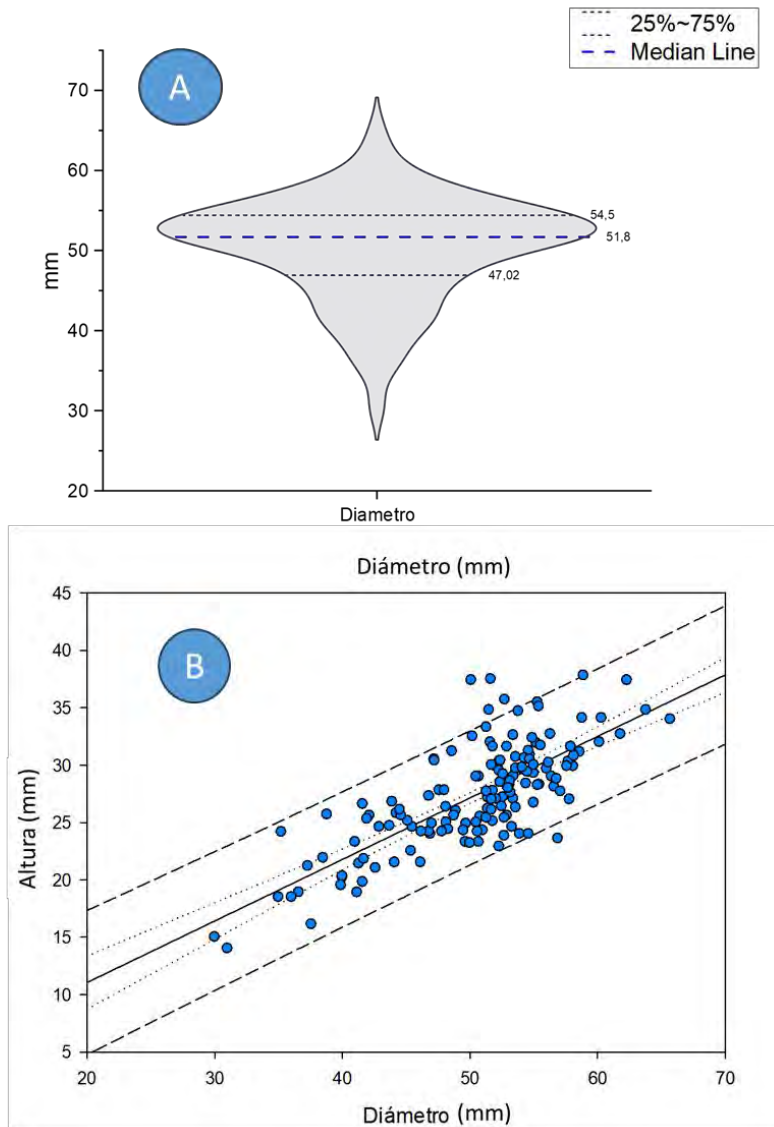


Figura 3. A) Distribución del diámetro de los erizos recolectados (N=120). B) relación entre diámetro y altura de los erizos recolectados.

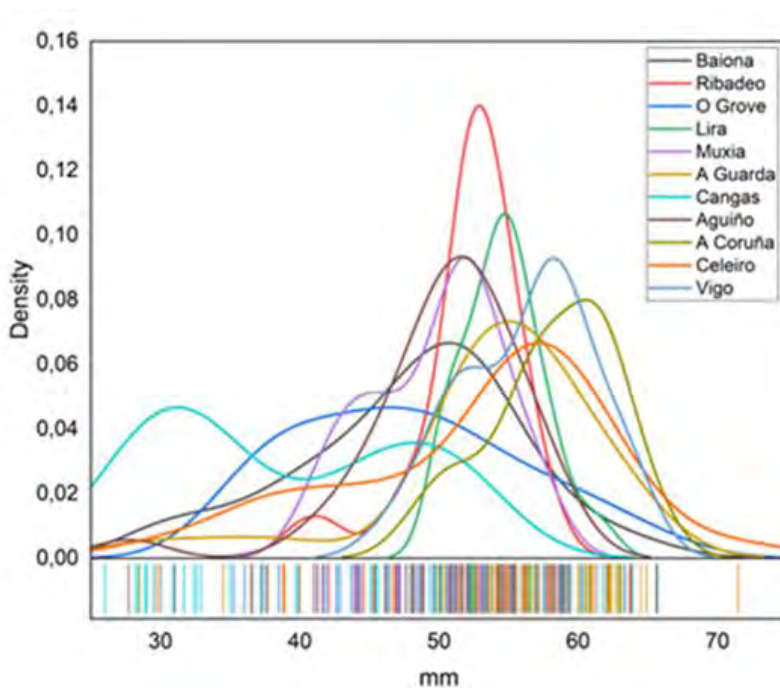


Figura 4. Abundancia de los tamaños de erizos (mm de diámetro), recogidos en las diferentes cofradías.

## DISCUSIÓN

El sistema de gestión de la pesquería de erizo en Galicia no logró evitar paradas temporales de actividad en muchas de las cofradías gallegas (M. Fernández-Boán, 2015). Así, será cada vez más necesario poder acortar las paradas de pesca mediante repoblaciones, que ya se han llevado a cabo en los últimos años y en las que participan organismos oficiales (Universidades, CIMA) y empresas (Algafrés S.L.), y que ya está ampliando la producción comercial de juveniles, demandada por las cofradías, para su uso en repoblaciones.

Entre los objetivos de este proyecto se encuentran: 1) evaluación de la estructura genética de las poblaciones de los diferentes rías y áreas de explotación como garantía para un manejo eficiente del recurso, 2) definición de una estrategia fundamentada para las actividades de reproducción y mejoramiento del recurso, y 3) mantenimiento de una mayor riqueza en diversidad

genética, como garantía de la resiliencia del recurso, a través de tareas de repoblación.

Para conseguirlo se deben evaluar actuaciones y riesgos relacionados con la repoblación (evaluación de individuos procedentes de criaderos; impacto de la liberación en poblaciones naturales), por lo que este proyecto evaluará la diversidad genética en las poblaciones naturales de Galicia mediante marcadores de alta resolución (SNPs), con el fin de encontrar una estrategia para las actividades de reproducción, mejora general del recurso, mantenimiento de una mayor diversidad genética y asegurar la resiliencia del recurso, a través de las tareas de repoblación.

## CONCLUSIONES

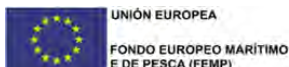
Este primer paso del proyecto nos permite disponer de un gran número de individuos para estudiar la variabilidad genética de las poblaciones naturales de erizo de mar en Galicia, con el fin de solucionar una de las principales preocupaciones de la repoblación, mediante el análisis con marcadores de alta resolución (SNPs) del impacto de la liberación en el medio de individuos obtenidos en criadero.

## Agradecimientos

Proyecto realizado gracias a un convenio entre la Consellería do Mar de la Xunta de Galicia y la Universidade de Santiago de Compostela (USC), dentro del Programa REDEMAR de la D.X. de Desenvolvemento Pesqueiro y cofinanciado por el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP), de la Unión Europea.



CONSELLERÍA  
DO MAR



Actuación cofinanciada polo FEMP nun 75%. P.O. español  
2014ES14MFOP001[Prioridade 1. OE1.e) - medida 1.5.2] OIG: D. X.  
Desenvolvemento Pesqueiro

También queremos agradecer, muy especialmente, el apoyo al proyecto y la consecución de las muestras a las siguientes personas que tendrían que figurar como coautoras de este trabajo pero que, debido a la normativa del FIRMA que limita el número de autores a siete, no han podido aparecer en el lugar que les correspondía. Sin ellas, este proyecto no se podría haber realizado: M. González Sestelo y A. Traveso Lago (Federación Galega de CP.), D. Prieto Sierra (CP. de Ribadeo), G. Portilla González (CP. de Celeiro e O Vicedo), P. Seoane Sánchez (CP. de A Coruña), C.M. Vidal Álvarez (CP. de Camariñas), M. Senande Caamaño (CP. de Lira), J.M. Paisal Sobrido (CP. de Aguiño), A. Costas Prol (CP. de O Grove), M.B. Barreiro Rios (CP. de Cangas), J. Alfaya Massó (CP. de Vigo), J.A. Santiago Amoedo (CP. de Baiona), R. Outeiral Radío (CP. de A Guarda), M. Buján Saco (Algafrés SL), B. Asorey Torres y D. Fernández Márquez (Xefatura Territorial da Coruña, Consellería do Mar).

## REFERENCIAS

- Baird N.A., Etter P.D., Atwood T.S., Currey M.C., Shiver A.L., Lewis Z.A., Selker E.U., Cresko W.A. & Johnson E.A. 2008. Rapid SNP discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers. *PLoS One*, 3, e3376.
- Boudouresque C.F. & Verlaque M. 2020. Chapter 26 - *Paracentrotus lividus*. In: Lawrence J. M. (ed.) *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. Elsevier.
- Calderón I., Giribet G. & Turon X. 2008. Two markers and one history: phylogeography of the edible common sea urchin *Paracentrotus lividus* in the Lusitanian region. *Marine Biology*, 154, 137-151.
- Calderón I., Palacín C. & Turon X. 2009. Microsatellite markers reveal shallow genetic differentiation between cohorts of the common sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) in northwest Mediterranean. *Molecular Ecology*, 18, 3036-3049.

- Calderón I., Pita I., Brusciotti S., Palacín C. & Turon X. 2012. Time and space: genetic structure of the cohorts of the common sea urchin *Paracentrotus lividus* in Western Mediterranean. *Marine Biology*, 159, 187-197.
- Calderón I. & Turon X. 2010. Temporal genetic variability in the Mediterranean common sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Marine Ecology Progress Series*, 408, 149-159.
- Coupé S., Couvray S., Tarnowska K., Simide R., Hachfi L., Pierre S., Gaillard S., Richard S., D'Alvise N.P., Gouze E., Martin Y., Bonnefont J.-L., Vicente N. & Grillasca J.-P. 2011. In situ spine sampling and Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) PCRs proved relevant methods for molecular studies on the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 409, 310-314.
- Couvray S., Miard T., Bunet R., Martin Y., Grillasca J.-P., Bonnefont J.-L. & Coupé S. 2015. Experimental Release of Juvenile Sea Urchins (*Paracentrotus lividus*) in Exploited Sites along the French Mediterranean Coast. *Journal of Shellfish Research*, 34, 555-563.
- Duran S., Palacín C., Becerro M.A., Turon X. & Giribet G. 2004. Genetic diversity and population structure of the commercially harvested sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata, Echinoidea). *Molecular Ecology*, 13, 3317-3328.
- Maltagliati F., Di Giuseppe G., Barbieri M., Castelli A. & Dini F. 2010. Phylogeography and genetic structure of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) inferred from the mitochondrial cytochrome b gene. *Biological Journal of the Linnean Society*, 100, 910-923.
- Ouréns R., Naya I. & Freire J. 2015. Mismatch between biological, exploitation, and governance scales and ineffective management of sea urchin (*Paracentrotus lividus*) fisheries in Galicia. *Marine Policy*, 51, 13-20.
- Paterno M., Schiavina M., Aglieri G., Ben Souissi J., Boscarì E., Casagrandi R., Chassanite A., Chiantore M., Congiu L., Guarneri G., Kruschel C., Macic V., Marino I.A.M., Papetti C., Patarnello T., Zane L. & Melià P. 2017. Population



genomics meet Lagrangian simulations: Oceanographic patterns and long larval duration ensure connectivity among *Paracentrotus lividus* populations in the Adriatic and Ionian seas. *Ecology and Evolution*, 7, 2463-2479.

Penant G., Aurelle D., Feral J.P. & Chenuil A. 2013. Planktonic larvae do not ensure gene flow in the edible sea urchin *Paracentrotus lividus*, *Marine Ecology Progress Series*, 480, 155-170.

Peterson B.K., Weber J.N., Kay E.H., Fisher H.S. & Hoekstra H.E. 2012. Double digest RADseq: an inexpensive method for de novo SNP discovery and genotyping in model and non-model species. *PLoS One*, 7, e37135.

Puritz J.B., Matz M.V., Toonen R.J., Weber J.N., Bolnick D.I. & Bird C.E. 2014. Demystifying the RAD fad. *Molecular Ecology*, 23, 5937-5942.

Quinteiro J., González-Lorenzo G., Hernández-Reyes D., Quinteiro L., Herrera-Pérez R., Martínez-Barrio J., González J.A., Rey-Méndez M. & González-Henríquez N. 2022. Genetic differentiation of a critically endangered population of the limpet *Patella candei candei* d'Orbigny, 1840, in the Canary Islands. *Conservation Genetics*, 23, 807-819.

Rey-Méndez M., Tourón N., Rodríguez-Castro J. & Quinteiro J. 2009. Diferenciación genética de poblaciones de erizo de mar (*Paracentrotus lividus* Lamarck, 1816) basada en RAPDs. XII Congreso Nacional de Acuicultura. Madrid.

Segovia-Viadero M., Serrão E.A., Canteras-Jordana J.C. & Gonzalez-Wangüemert M. 2016. Do hatchery-reared sea urchins pose a threat to genetic diversity in wild populations? *Heredity*, 116, 378-383.


Tourón N., Fernández-Silva I., Rodríguez-Castro J., González N.E., Catoira J.L. & Rey-Méndez M. 2018. Genetic Characterization of *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) Populations from Nw Spain and the Canary Islands. *Journal of Shellfish Research*, 37, 651-658.

# Presencia del Nemátodo *Echinocephalus pseudouncinatus* en callos de hacha *Atrina maura*

## Infestation of the nematode *Echinocephalus pseudouncinatus* in the commercial pen shell *Atrina maura*

M. Magali Gómez-Valdez, Lucía Ocampo,  
Liliana Carvalho-Saucedo, Ariel Cruz-Villacorta

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,  
La Paz, México

Correspondencia M. Magali Gómez-Valdez  [magova88@gmail.com](mailto:magova88@gmail.com)

Palabras clave |  
Nemátodos,  
Callos de hacha,  
Pinnidae,  
Gnathostomatidae.

**RESUMEN** | Se detectó la presencia de nemátodos en *Atrina maura*, una especie de almeja de la familia Pinnidae, de gran importancia pesquera por ser consumida en México y otras partes del mundo. Durante 2015, se recolectaron aleatoriamente de 10 a 40 individuos de estas almejas cada mes en el mismo banco, sus gónadas se conservaron y procesaron histológicamente para establecer la frecuencia estacional y mensual de las gónadas con nemátodos. Se colectaron, cuantificaron y conservaron los parásitos para la obtención de imágenes e identificación. Se utilizó una submuestra de 35 callos de hacha para caracterizar la infestación en músculo, manto, gónada y glándula digestiva, para ello se realizaron disecciones sistemáticas. Los datos de prevalencia, intensidad de infestación, y abundancia se analizaron y se compararon mensual y estacionalmente. Todos los nemátodos encontrados eran juveniles de *Echinocephalus pseudouncinatus*. Los parásitos se encontraron sólo en músculos y gónadas, tanto de machos como de hembras. Se observó hiperpigmentación en el músculo y gametos atrésicos en las gónadas. La frecuencia de gónadas infestadas fue significativamente mayor durante el invierno sin tener relación con el tamaño o el sexo de las almejas.

El mayor número de almejas infestadas correspondieron con organismos en etapas de desove y desarrollo gonádico. Es necesario seguir investigando los efectos de los parámetros bióticos y abióticos en la relación hospedero-parásito. Esta especie de nemátodo es parte de la familia Gnathostomatidae, en la cual existen miembros de importancia para la salud humana.

Keywords |  
Nematodes,  
Pen shells,  
Pinnidae,  
Gnathostomatidae.

**ABSTRACT** | A nematode infestation in *Atrina maura*, the most valuable pen shell fished in Mexico was described. Parasites were found encysted in pen shell gonads. During 2015, 10 to 40 pen shells were randomly collected each month from the same commercial bed, and gonads were preserved and processed histologically to establish the seasonal and monthly frequency of infested gonads. A subsample of 35 pen shells was used to identify the parasite and to characterize the infestation of the muscle, mantle, gonad, and digestive gland tissue components. All tissues were dissected, and parasites were collected, photographed, quantified, and preserved for species identification. Prevalence, infestation intensity, abundance and crowding data were compared monthly and seasonally. All parasites were juvenile nematodes of *Echinocephalus pseudouncinatus*. Parasites were found only in muscle and gonad tissues in both male and female pen shells. Hyperpigmentation was observed in the muscle and atretic oocytes in the gonads. The frequency of infested gonads was significantly higher during winter but was not related to shell size or sex. A greater number of pen shells were observed during pen shell spawning and development stages. The effects of the biotic and abiotic parameters on this host-pathogen relationship need further research. This nematode species belongs to Gnathostomatidae family and is related to causal agents of gnathostomiasis, which may constitute a human health hazard for raw muscle consumers and could affect the reproductive activity of pen shell.

## INTRODUCCIÓN

Se les denomina callos de hacha a almejas de la familia Pinnidae, son organismos sésiles que viven semienterrados, se encuentran asociados a pastos marinos y viven en agrupaciones llamadas bancos (Keen, 1971). Las especies de esta familia tienen importancia económica pues son muy apreciadas para su consumo humano en muchas culturas alrededor del mundo. La pesca de almejas es una industria importante en muchas regiones costeras y contribuye a la economía de algunas regiones de México. Según la carta nacional pesquera, el recurso callo de hacha está conformado por cuatro especies para las cuales se tienen casi las mismas consideraciones de manejo. De ellas, *Atrina maura* es la más explotada, esta especie se distribuye desde Baja California hasta Perú y la zona más importante para su aprovechamiento se encuentra al norte de Baja California Sur en México (DOF, 2018).

Por su parte, los nemátodos son gusanos que habitan en ambientes terrestres, marinos y dulceacuícolas, pueden ser de vida libre o parásitos de plantas, animales y humanos. Los nemátodos parásitos pueden tener un efecto directo o indirecto en sus huéspedes que van desde cambios menores en el desempeño individual hasta daño tisular severo que puede afectar la supervivencia del huésped, el tamaño de la población al reducir el éxito reproductivo y la condición corporal. (Albon et al., 2002; Chaves et al., 2009; Coen y Bishop, 2015). La prevalencia, intensidad y abundancia de nemátodos se utilizan para describir cómo la cantidad de parásitos puede afectar la salud de la población huésped. El género *Echinocephalus* de la familia Gnathostomatidae son parásitos de elasmobranquios, como el tiburón *Heterodontus francisci* y la raya *Himantura pacifica* (Gómez del Prado, 1984; Hober et al., 1998). También se han reportado en invertebrados marinos que sirven como huéspedes intermediarios como los equinodermos *Centrostephanus coronatus* y *Arbacia punctulate*, y moluscos como *Haliotis corrugata*, *Volegalea cochlidium*, *Crassostrea gigas* y *Pinna bicolor* (Baylis y Lane, 1920; Hopkins, 1935; Anantaraman, 1964; Pearse y Timm, 1971; Cheng, 1975). En México, hasta antes del presente, sólo existen dos reportes de *Echinocephalus pseudouncinatus* (Millemann, 1951) parasitando la almeja *Argopecten ventricosus* en la región noroeste (McLean, 1983; Gómez del Prado, 1984). Se ha reportado que los juveniles de *E. pseudouncinatus* generan ampollas

y perforaciones en el pie de *Haliotis corrugata*, modificando su apariencia y consistencia (Millemann, 1951), y suprime la gametogénesis en *C. coronatus* (Pearse y Timm, 1971).

En los últimos años se ha notado una disminución en las capturas del recurso callo de hacha mientras que en 2014 se observó la presencia de gusanos nemátodos enquistados en callos de hacha (DOF, 2018). El conocimiento de esta relación ecológica es importante porque se desconocen los efectos en la almeja hospedera que es un producto comercial de altos ingresos. Los objetivos de este estudio fueron identificar el parásito, caracterizar la infestación en diferentes tejidos y establecer su variación estacional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

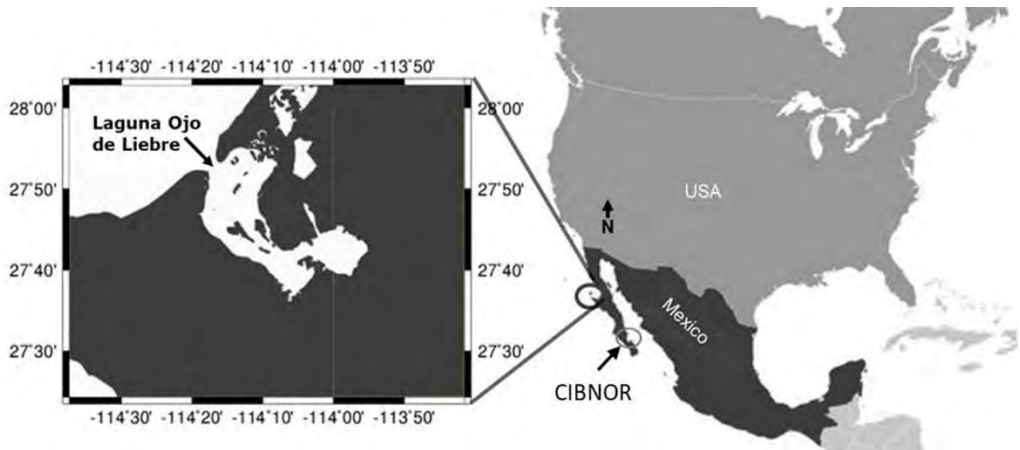


Figura 1. Localización del área de estudio, Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México.

La Laguna Ojo de Liebre (Fig. 1) forma parte del complejo lagunar Ojo de Liebre. Se localiza entre 27° 55' y 27° 35' N y 114° 20' y 113° 50' O. Tiene una superficie de 366 km<sup>2</sup> por lo que resulta ser la laguna costera más grande de la porción occidental de la península de Baja California. Presenta una serie de canales ramificados que van desde los tres metros hasta los 26 m de profundidad. Cuenta con sedimentos de finos a muy finos, presenta arena media en el área de canales

y limos y arcillas en el interior de la laguna (Phleger y Ewing, 1962). Puede presentar temperaturas de entre 13°C y 26°C (Álvarez-Borrego y Granados-Guzmán, 1992). Esta laguna se caracteriza por su gran evaporación dando como resultado una salinidad más alta que la encontrada en aguas adyacentes, con valores de hasta 47 UPS, su oleaje se considera alto y la máxima concentración de nutrientes se da entre abril y agosto (Contreras, 1985).

### Caracterización de la infestación e Identificación de nemátodos

De enero a diciembre de 2015 se colectaron entre 10 y 40 individuos de *A. maura*. Se pesaron y midieron para posteriormente separar sus tejidos y conservar sus gónadas en una solución de formol al 10% y agua de mar para su posterior análisis histológico tradicional (Humason, 1979). La infestación de nemátodos en gónadas de *A. maura* se caracterizó utilizando 419 muestras histológicas. Se registró la presencia de nemátodos, su frecuencia y se obtuvieron imágenes con microscopio óptico.

Una submuestra de 35 callos de hacha se seleccionó al azar y se separó la masa visceral de cada individuo en músculo, manto, gónada y glándula digestiva para realizar disecciones sistemáticas con un estereoscopio para obtener material helmintológico. Se localizaron y fotografiaron nemátodos vivos, se retiraron cuidadosamente de los tejidos del huésped, se cuantificaron y preservaron en alcohol al 70% para su posterior análisis e identificación.

Para la identificación del parásito se emplearon 40 individuos que fueron analizados por microscopía electrónica de barrido. Los parásitos se fijaron con glutaraldehído al 2.5% en una solución amortiguadora de cacodilato de sodio 0.1M, pH 7.4 a 4°C, se lavaron en el buffer tres veces para iniciar la pre-deshidratación gradual con alcohol etílico (20%, 40% 70% y 100%), se secaron en dióxido de carbono a punto crítico (Samdri PVT-3B). Se montaron y recubrieron por ionización de metales y se obtuvieron imágenes con un microscopio electrónico de barrido (Hitachi-S-3000N) a 20 y 25 kV para analizar las estructuras de los nemátodos. Además, se procesaron 51 parásitos en glicerina para visualizar las estructuras externas e internas utilizando un microscopio estereoscópico (Ryss, 2003), posteriormente se utilizaron las claves de identificación de *Echinocephalus* (Anantaraman, 1964) y la descripción de sus larvas de Milleman (1951, 1963).

Durante el análisis de muestras histológicas se registró la presencia de parásitos nemátodos por mes a lo largo del año, para establecer la prevalencia, intensidad y abundancia mensual según Bush *et al.* (1997) de acuerdo con las siguientes formulas:

**Prevalencia** = número de almejas parasitadas/ número de almejas examinadas

**Intensidad** = número de parásitos por tejido / número de almejas parasitadas.

**Abundancia** = número de parásitos por tejido / número de almejas examinadas.

Para los análisis estadísticos de la infestación parasitaria se utilizó el software "Quantitative Parasitology" (Rozsa *et al.*, 2000, Reiczigel *et al.*, 2013). Se estimaron las diferencias de la intensidad de parásitos entre tejidos y estaciones, por medio de la prueba no paramétrica de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ). Se utilizó la prueba t Bootstrap para comparar la abundancia y la intensidad medias. (entre la gónada y el músculo). Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) y Análisis de medias (ANOM) con límites de detección del 95% (Statgraphics 18) se utilizaron para detectar diferencias entre tejidos, en la frecuencia estacional y mensual de gónadas infestadas (Reiczigel *et al.*, 2005).

## RESULTADOS

Todos los nemátodos encontrados fueron juveniles (segundo estadio) de *Echinocephalus pseudouncinatus* que pertenece a la familia Gnathostomatidae y el orden Spirurida. Presentaron un cuerpo libre de espinas o ganchos (Fig. 2a); pero su cabeza tiene ganchos dispuestos en anillos (Fig. 2b, 2c). La primera y segunda filas, las más cercanas a la boca, tienen ganchos más pequeños que no completan el anillo cefálico. La boca con dos lóbulos y labios con papilas centrales (Fig. 2d), se observaron dos estructuras musculares al lado de cada lóbulo y dos más entre los labios. En todo el cuerpo, se observaron paquetes musculares transversales (Fig. 2e). El ano se encontró situado en la parte ventral y al final del cuerpo se observó un mucrón (Fig. 2f).

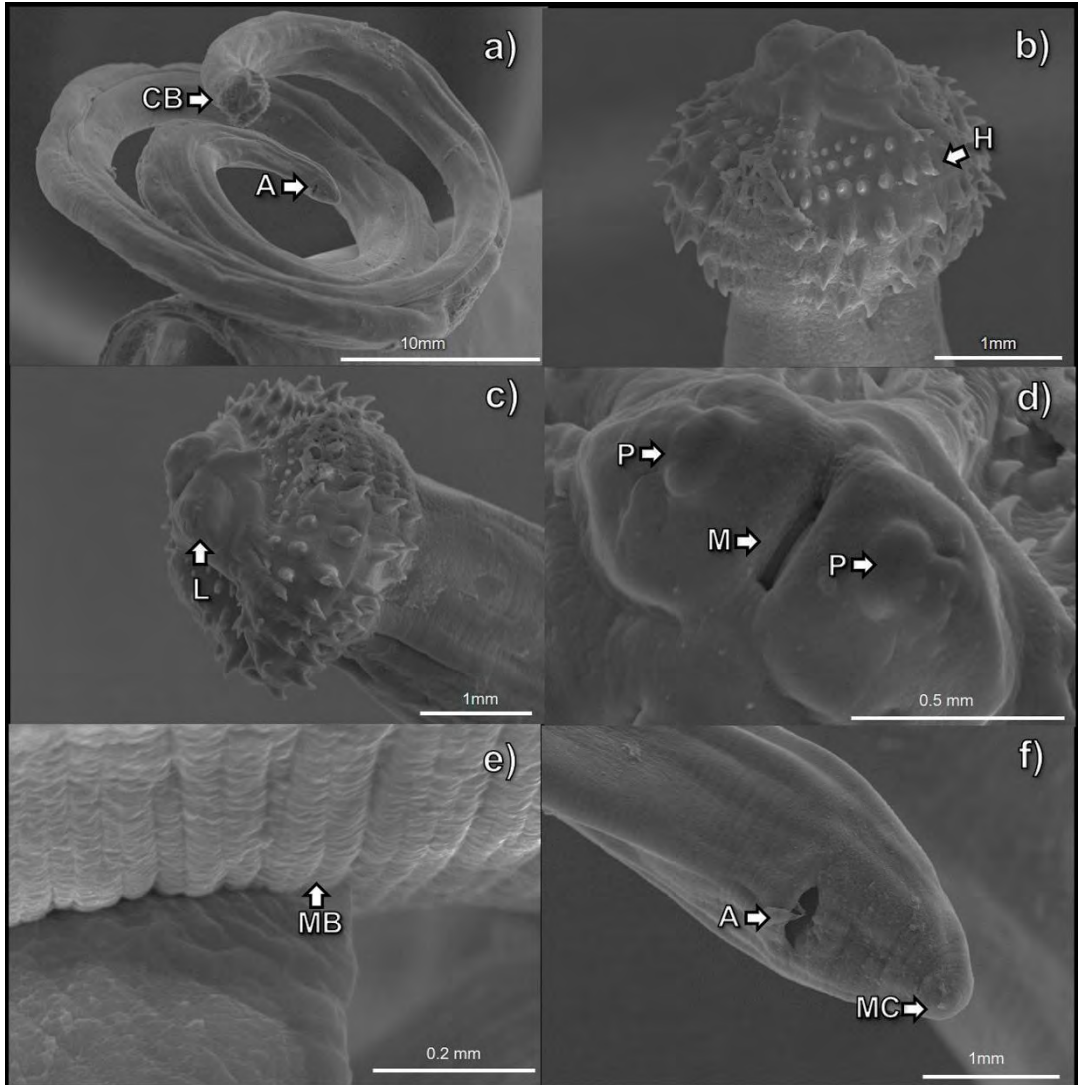


Figura 2. Micrografías del nemátodo *Echinocephalus pseudouncinatus* generadas por microscopía electrónica de barrido. a) Larva completa del nemátodo; b) bulbo cefálico con hileras de ganchos (H); c) bulbo cefálico con los labios señalados (L); d) vista apical de la región cefálica, se observa la boca (B) y las papilas (P); e) acercamiento de los paquetes musculares (PM); f) Región caudal, se observa la apertura anal (A) y el mucrón (M) (Gómez-Valdez et al., 2019).



Los parásitos se encontraron enrollados y encapsulados sólo en músculos y gónadas, tanto de machos como de hembras. La cápsula de los nemátodos que se observaron enquistados está formada por una de tejido fibroso conectivo, y en algunos casos se observó infiltración de hemocitos alrededor del proceso inflamatorio.

En todo el periodo de muestreo se observaron atresias masivas en hembras y hermafroditas de *A. maura*, dentro de las características más importantes de los gametos atrésicos están su poca reacción a la tinción histológica del citoplasma así la afinidad acidófila del núcleo, su forma irregular que muchas veces se asemeja a piezas de rompecabezas, en algunos casos se presenta lisis celular y vaciado de su contenido. Esto se observó en los estadios de desarrollo, madurez y desove con porcentajes de entre 30% y 100% de los organismos (Fig. 3).

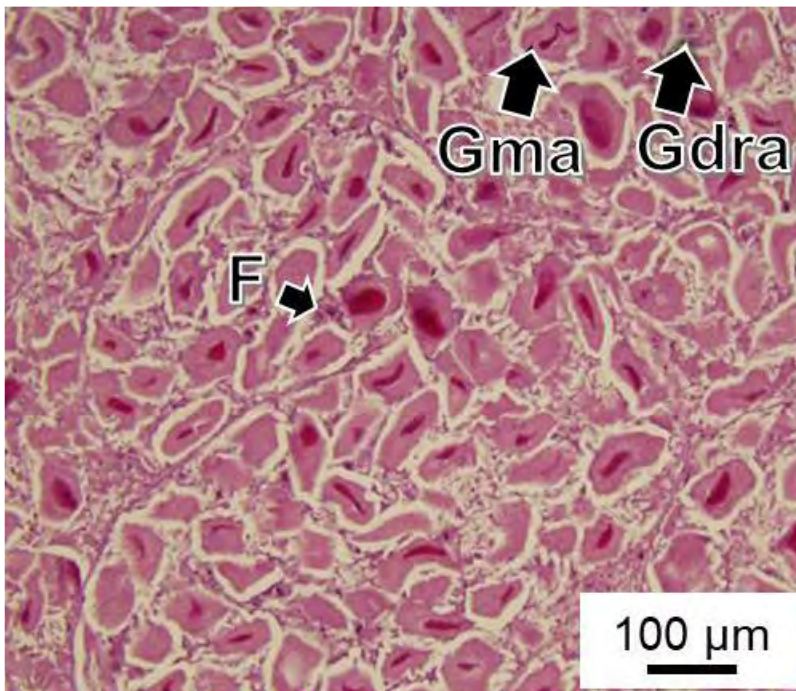


Figura 3. Fotomicrografía de la presencia de atresia en gónadas de una hembra de *A. maura* durante el 2015 en Laguna Ojo de Liebre, México. (Gma: Gametos maduros atrésicos, Gdra: Gametos en desarrollo atrésicos, F: Fagocitos).

En algunos músculos infestados se observó hiperpigmentación (Fig. 4a) en el sitio donde se distinguía la cápsula del nemátodo y en algunos casos se podía observar al nemátodo enrollado (Fig. 4b) con un arreglo en espiral y anudados dentro de su cápsula (Fig. 4c) y cuando se liberaban del tejido se “desanudaban” (Fig. 4d).

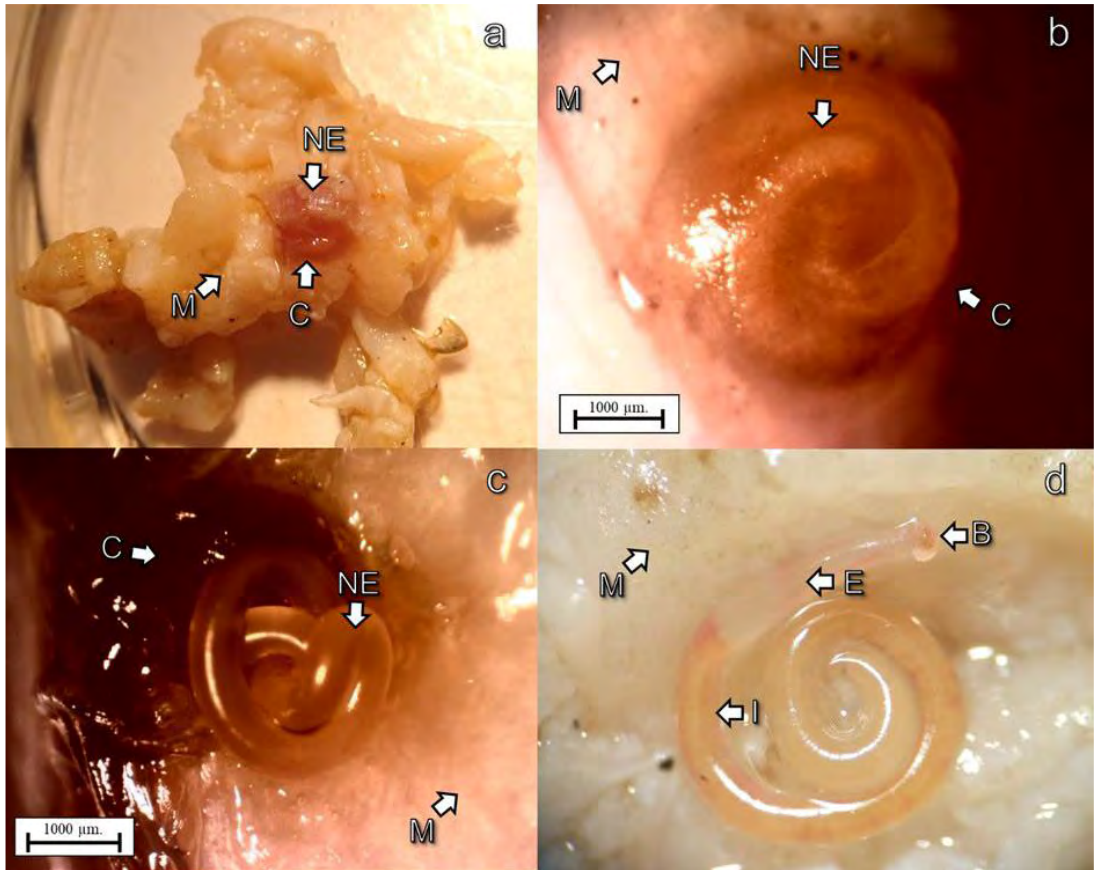


Figura 4. *Echinocephalus pseudouncinatus* en músculos de *Atrina mauro* de Laguna Ojo de Liebre durante el 2015. a) Apariencia del músculo (M) con nemátodos encapsulados (NE), b) acercamiento de la cápsula (C) con el nemátodo dentro, c) nemátodo con la mayor parte de su cuerpo fuera de la cápsula, d) nemátodo fuera de su cápsula, se observa su bulbo cefálico (B), esófago (E) e intestino (I).

A partir de las muestras histológicas se obtuvo que, de los 417 ejemplares de *A. maura*, la prevalencia de nemátodos fue del 20.7%, en la submuestra de hembras fue de 10.9%, en machos 7.3% y en hermafroditas 2.3%. Respecto a la variación de prevalencias por meses, la mayor prevalencia se encontró en enero y diciembre (40%) mientras que la menor prevalencia se presentó en marzo (4.8%) (Fig. 5).

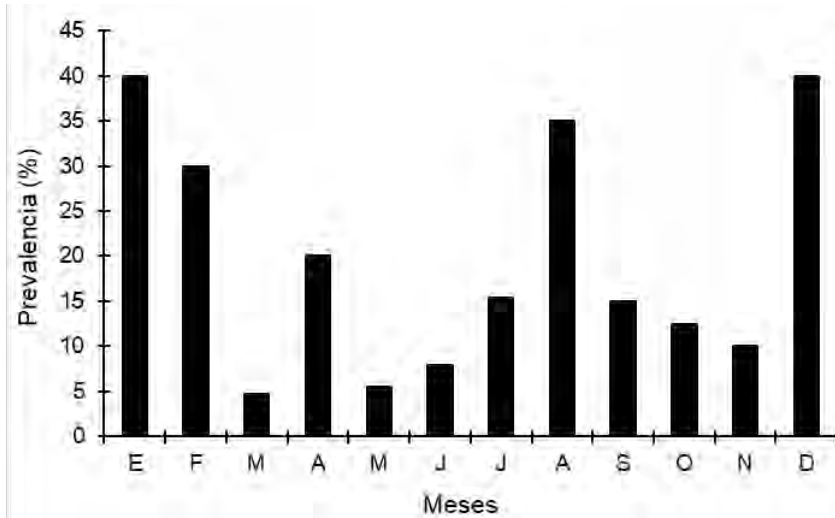


Figura 5. Prevalencias mensuales de individuos de *A. maura* con presencia de *E. pseudouncinatus* (n=419) durante el año 2015 en Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México.

No se encontró alguna relación de este resultado con el tamaño o el sexo de las almejas ( $p > 0,05$ ) pero coincidió con los valores más bajos de temperatura y concentraciones de clorofila. El mayor número de almejas infestadas correspondió con organismos en etapas de desove y desarrollo gonádico.

A partir de las revisiones sistemáticas se obtuvo una prevalencia general, de 35 organismos de *A. maura* el 60% tuvo nemátodos, la intensidad parasitaria en general fue de 4.3 parásitos por hospedero infectado (p/hi) mientras que en músculo fue de 2.7 (p/hi) y en gónada de 3.2 (p/hi). Respecto a la abundancia de nemátodos, se encontraron 2.6 parásitos por hospedero analizado (p/ha), 0.85 (p/ha) en músculo y 1.74 (p/ha) en gónada. No se encontraron diferencias estacionales en la prevalencia, intensidad y abundancia del parásito en músculo y gónada ( $p > 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

Los nemátodos del género *Echinocephalus* presentan ganchos cefálicos gracias a los cuales pueden realizar una migración visceral entre los tejidos del hospedero (Ko, 1975; Ko, 1976) el cual es un comportamiento semejante al de las larvas de otros nemátodos como *Anisakis* sp., *Terranova* sp., *Contracaecum* sp., y *Gnathostoma* sp., que se sabe tienen la capacidad de parasitar a mamíferos. Además, Ko (1976) realizó experimentos donde encontró que *E. sinensis* llegó a tener un establecimiento exitoso en ratas, gatos, perros y monos. También se ha reportado la infestación de *E. pseudouncinatus* a otra especie de mamífero, *Didelphis marsupialis* (Lamothe-Argumedo et al., 1997).

Hasta el momento, *E. pseudouncinatus* sólo se había reportado en bivalvos de la especie *Argopecten ventricosus* de la Laguna Ojo de Liebre (Gómez del Prado, 1984), con altos valores de prevalencia e intensidad en músculo (79.5% y 6.1 parásitos/hospedero respectivamente). En el presente trabajo, en *A. maura* se encontraron prevalencias cercanas al 50% en enero y diciembre las cuales pueden ser consideradas como altas (Gosling, 2004).

Gaviria-Giraldo et al. (2017), señalan que la capacidad de parasitosis de las especies de nemátodos de esta familia provoca una enfermedad conocida como Gnatostomiasis, que, al migrar a tejidos profundos, compromete los órganos internos donde se aloja y señalan que su transmisión en humanos es a través del consumo de pescado o mariscos crudos.

La respuesta a la infestación puede ser variable, en algunos casos la respuesta inflamatoria no necesariamente ocurre donde se aloja el parásito, mientras que en otros organismos puede haber una fuerte respuesta del tejido circundante al parásito (Gómez del Prado, 1984; Ko, 1975; Ko, 1976).

En algunos callos de hacha se observó un proceso inflamatorio alrededor de los quistes del nemátodo, es posible que la degeneración de gametos observada en sus gónadas podría estar relacionada con la presencia de *E. pseudouncinatus*, tal como reportó Cheng (1975) quien observó que la presencia de *E. crassostrei*

causó el desplazamiento de ovocitos y la destrucción, ruptura o compresión de gametos en gónadas de *Crassostrea gigas*.

Por otro lado, se ha visto que larvas del nemátodo *E. pseudouncinatus* que parasitan al erizo *Centrostephanus coronatus* bloquean el paso de alguna sustancia de carácter hormonal que regula el proceso de gametogénesis provocando su interrupción (Pearse & Tim, 1971, Valderrama et al., 2004).

Respecto a la presencia de los nemátodos encapsulados en músculo, se notó también una textura muscular menos firme de lo normal. Esto último, se ha observado también en la almeja *Spisula solidissima* por la presencia del parásito *Sulcascaris sulcata*. Lo que puede llegar a afectar la calidad del músculo, reduciendo el valor comercial de estos recursos (Gosling, 2004).

Otro aspecto por resaltar fue que las gónadas femeninas de *A. maura* tuvieron mayor prevalencia que los machos, como lo encontraron Pearse & Tim (1971) en el erizo *C. coronatus*. La mayor prevalencia de parásitos en hembras respecto de machos ha sido asociada con la temporada de desove de las hembras, por presentar un mayor contenido de glucógeno y lípidos en los ovarios, que proporciona una rica nutrición a las larvas de los parásitos, favoreciendo su crecimiento (Cheng y Synder, 1962).

Chávez-Villalba et al. (2013) encontraron en el bivalvo *Pinctada margaritifera*, que la tasa de ingestión y eficiencia de asimilación de hembras fue estadísticamente mayor a la de machos. Es posible que las diferencias encontradas entre sexos de *A. maura* por un lado estén asociadas al contenido de sustancias nutritivas durante el proceso reproductivo de hembras, en conjunto con una mayor tasa de ingestión respecto de los machos, lo que resulta en un consumo mayor de alimento y mayor ingreso de parásitos.

La mayor abundancia de parásitos encontrada en la gónada respecto del músculo de *A. maura* también puede explicarse por su composición bioquímica diferente. Al igual que en la gónada, se han encontrado variaciones bioquímicas en el músculo asociadas con la etapa reproductiva, de tal forma que las características nutritivas del músculo disminuyen en ciertas épocas del año (Beltrán-Lugo, 2006 y Mora-Mayo, 2014), lo que podría ser desfavorable para el

crecimiento y mantenimiento del nemátodo *E. pseudouncinatus* en estos bivalvos, reduciéndose su prevalencia.

Se ha descrito que como parte del ciclo de vida de las especies de Gnathostomatidos, los huéspedes intermedios incluyen varias especies de zooplancton, en los que ocurre parte del desarrollo larval, y cuando el hospedero es comido por otro organismo, el parásito se libera y busca un tejido para alojarse en un nuevo hospedero (Richard et al., 2002). Al respecto se ha encontrado en *Pinna nobilis* y *Atrina zelandica* que el zooplancton (copépodos, larvas de bivalvos, gastrópodos, etc.) forma una parte importante de su alimentación (Safi et al., 2007; Davenport et al., 2011). Aunado a esto se ha observado que *A. maura*, a 28°C presenta una tasa de filtración promedio de 3.96 L/h/individuo (cantidad de material particulado extraído del volumen de agua por hora) (Nieves-Soto et al., 2013; Bayne et al., 1983), esta tasa de filtración es alta comparada con la encontrada para otros bivalvos como *Mytilus edulis* (2 L/h/individuo), *Mya arenaria* (0.79 L/h/individuo) y *Cardium edule* (1.65 L/h/individuo) (Riisgård, 2003). Es posible que la mayor prevalencia de parásitos también esté asociada a una mayor tasa de filtración entre individuos y entre temporadas, es decir, que algunos individuos consuman una mayor cantidad de alimento (incluyendo nemátodos) que ingresa al aparato digestivo, donde serán liberados los parásitos para alojarse en su nuevo hospedero. Sin embargo, esto deberá ser corroborado en estudios de alimentación, (tipo de alimento ingerido y tasa de filtración) de estos callos de hacha, que permitan conocer la forma de ingreso del parásito a estos bivalvos. También es importante considerar que aquellos nemátodos que se encontraron en las gónadas de los callos de hacha utilizan el espacio de uno o más folículos lo cual disminuye el espacio disponible para gametos y, por lo tanto, tiene un impacto en el número de gametos producidos.

A pesar de que en nuestros resultados no se observó claramente la ocurrencia temporal del parásito, en otros bivalvos como *A. ventricosus* se ha observado una disminución en la incidencia de infestación de *E. pseudouncinatus* en otoño e invierno, que se asoció al descenso de temperatura, mientras que para temporadas más cálidas reportan valores más altos de prevalencia e intensidad (Gómez del Prado, 1984). Al respecto Ko (1977), sugiere que la habilidad de *E. sinensis* para invadir tejidos de distintos tipos de organismos puede estar influenciada por factores estacionales, y que la capacidad de penetración tisular

por los parásitos depende de la temperatura, de tal manera que a mayor temperatura, mayor número de infecciones positivas en organismos (en condiciones experimentales); también observó que los nemátodos obtenidos de ostiones *Crassostreaa gigas* fueron mucho más activos en el verano que los obtenidos en otras épocas.

En otros casos también se han encontrado prevalencias e intensidades mayores en el invierno para otras especies de parásitos (*Diplectanum aequens*). Se ha señalado que la incidencia de los parásitos varía entre hospederos, ya que algunos de estos generan resistencia a la infestación en algún momento de su vida, y que la condición fisiológica y de salud también pueden influir en el éxito de una infestación (Emre *et al.*, 2014). La presencia de *E. pseudouncinatus* en *A. maura*, es un hallazgo importante, ya que esta infestación podría estar afectando otras especies de bivalvos, ocasionando consecuencias de salud pública y pérdidas para el sector pesquero. Además, esta infestación podría tener consecuencias negativas en el desempeño reproductivo de los callos de hacha, sobre todo en *A. maura*, en la que fue notable el daño en sus gónadas.

El presente trabajo fue el primer reporte de callos de hacha como hospederos intermediarios de *E. pseudouncinatus* (Gómez-Valdez *et al.*, 2019). Es necesario seguir investigando los efectos de los parámetros bióticos y abióticos en esta relación ecológica.

## Agradecimientos

El muestreo de especímenes de *A. maura* fue parte de un proyecto gubernamental INAPESCA (POA Callo de hacha, CRIP-La Paz, 2014-2015). Este estudio es parte de la tesis de doctorado de Gómez-Valdez, M. M (376127, CONAHCYT). Agradecemos a la "Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas" por los datos ambientales proporcionados.

## REFERENCIAS

- Albon S. D., Stien A., Irvine R.J., Langvatn R., Ropstad E., Halvorsen O. (2002). The role of parasites in the dynamics of a reindeer population. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 269: 1625–1632.
- Álvarez-Borrego S., Granados-Guzmán A. (1992). Space - temporal variation of temperature in a winter habitat of the gray whale: Laguna Ojo de Liebre. *Cienc. Mar.*, 18: 151–165.
- Anantaraman S. (1964). A juvenile *Echinocephalus uncinatus* (Molin, 1858) in the Marine gastropod, *Hemifusus pugilinus*, with notes on the genus *Echinocephalus* (Nematoda: Gnathostomidae). *Ann. Mag. Nat. Hist. Ser.*, 13: 101-105.
- Baylis H., Lane C. (1920). A revisión of the nematode family Gnathostomidae. *Proc. Zool. Soc. London.*, 1: 245–310.
- Bayne B. L., Salkeld P.N., Worrall C.M. (1983). Reproductive effort and value in different populations of the Marine mussel, *Mytilus edulis*. *Oecologia* 59:18-26.
- Beltrán-Lugo A. I., Maeda-Martínez A.N., Pacheco-Aguilar R., Nolasco-Soria H.G. (2006). Seasonal variations in chemical, physical, textural, and microstructural properties of adductor muscles of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*). *Aquaculture*, 258:619-632.
- Bush, A., Lafferty K., Lotz J., Shostak A. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et. al. Revisited. *J. Parasitol.*, 83: 575-583.
- Chaves L. F., Kaneko A., Pascual M. (2009). Random, top-down or bottom-up coexistence of parasites: malaria population dynamics in multi-parasitic settings. *Ecology*, 90 (9): 2414–2425.



- Chávez-Villalba, J., Soyez C., Aurentz H., Le Moullac G. (2013). Physiological responses of female and male black-lip pearl oysters (*Pinctada margaritifera*) to different temperatures and concentrations of food. *Aquat. Living Resour.*, 26:263–271.
- Cheng T. (1975). A structural and histochemical study of the reaction complex in *Crassostrea gigas* to *Echinocephalus crassostreai*. *J. Invertebr. Pathol.*, 26: 113-119.
- Cheng, T., Synder R. (1962). Studies on the host-parasite relationships between larval trematodes and their hosts. II. The utilization of the host's glycogen by intramolluscan larvae of *Glypthelmins pennsylvanensis* and associated phenomena. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, 81:209-228.
- Coen L. D., Bishop M. J. (2015). The ecology, evolution, impacts, and management of host-parasite interactions of marine mollusks. *J. Invertebr. Pathol.*, 131: 177–215.
- Contreras, F. (1985). Las lagunas costeras mexicanas. Centro de ecodesarrollo. Secretaría de pesca. México, D. F. 265pp.
- Davenport, J., Ezgeta-Balic D., Peharda M., Skejic S., Ninčević-Gladan Z., Matijević S. (2011). Size-differential feeding in *Pinna nobilis*: Exploitation of detritus, phytoplankton and zooplankton. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 92:246-254.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2018). Carta Nacional Pesquera. Instituto Nacional de la Pesca, México.
- Emre, N., Kubilay A., Aydogdu A. (2014). Prevalence, intensity, and abundance of helminth parasites infections on wild sea bass, *Dicentrarchus labrax* from Beymelek lagoon lake, Antalya, Turkey. *J. of Acad. Docum. Fish. and Aq.*, 1:31-39.
- Gaviria-Giraldo, C. M., Velásquez C., Ruiz A. C. (2017). Gnatostomiasis, una enfermedad cada vez más frecuente en Colombia. *Ces. Med.*, 31(2):199-206.

- Gómez del Prado, M. (1984). *Echinocephalus pseudouncinatus* de *Argopecten circularis* y *Heterodontus francisci* en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 125pp.
- Gómez-Valdez, M. M., Carvalho-Saucedo L., Ocampo L., Cruz-Villacorta A. (2019) First record of the nematode *Echinocephalus pseudouncinatus* (Gnathostomatidae, Spirurida) in an edible, commercial host, the pen shell *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae). *J Invertebr Pathol* 167: 107249
- Gosling, E. (2004). *Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and culture*. Fishing news books. New Jersey. 443pp.
- Hober E., Brooks P., Molina-Ureña H., Erbe E. (1998). *Echinocephalus janzeni* (Nematoda: Gnathostomatidae) in *Himantura pacifica* (Chondrichthyes: Myliobatiformes) from the Pacific coast of Costa Rica and Mexico, with historical biogeographic analysis of the genus. *J. Parasitol.*, 84: 571–581.
- Hopkins S. (1935). A larval *Echinocephalus* in a sea urchin. *J. Parasit.*, 21: 314–315.
- Humason G. L. (1979). *Animal tissue techniques*. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 129pp.
- Keen, A. M. (1971). *Seashells of tropical West America. Marine Mollusks from Baja California to Peru*. Stanford university press. Stanford, California. 1025 pp.
- Ko, R. (1975). *Echinocephalus sinensis* from the ray *Aetabatus flagellum* in Hong Kong, Southern China. *Can. J. Zool.*, 53:490-500.
- Ko, R. (1976). Experimental infection of mammals with larval *Echinocephalus sinensis* (Nematoda: Gnathostomatidae) from oysters. *Can. J. Zool.*, 54:597-609.
- Ko, R. (1977). Effects of temperature acclimation on infection of *Echinocephalus sinensis* (Nematoda: Gnathostomatidae) from oysters to kittens. *Can. J. Zool.*, 55:1129-1132.

- Lamothe-Argumedo, R., García-Prieto L., Osorio-Sarabia D., Pérez-Ponce G. (1997). Catálogo de la colección nacional de helmintos. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Mexico. 211pp.
- McLean N. (1983). An Echinocephalid nematode in the scallop *Argopecten aequisulcatus* (Mollusca: Bivalvia). *J. Invertebr. Pathol.*, 42: 273–276.
- Milleman R. E. (1951). *Echinocephalus pseudouncinatus*, a nematode parasite of the Abalone. *J. Parasitol.*, 37(5):435-439.
- Millemann R. E. (1963). Studies on the taxonomy and life history of Echinocephalid worms (Nematoda: Spiruroidea) with a complete description of *Echinocephalus pseudouncinatus*. *J. Parasitol.*, 49:754-764.
- Mora-Mayo, I. J. (2014). Evaluación de características químicas, físicas y sensoriales relacionadas con la calidad alimenticia de los callos de hacha *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835) y *Atrina maura* (Sowerby, 1835). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México. 64 pp.
- Nieves-Soto, M., Buckle-Ramírez L. F., Piña-Valdez P., Medina-Jasso M. A., Miranda-Baeza A., Martínez-Córdova L. R., López-Elías J. A. (2013). Combined effect of temperature and food concentration on the filtration and clarification rates and assimilation efficiency of *Atrina tuberculosa* under laboratory conditions. *Arch. Biol. Sci.*, 65(1):99-106.
- Pearse J., Timm R. (1971). Juvenile nematodes *Echinocephalus pseudouncinatus* in the gonads of sea urchins *Centrostephanus coronatus* and their effect on host gametogenesis. *Biol. Bull.*, 140: 95-103.
- Phleger F. B., Ewing G. C. (1962). Sedimentology and oceanography of coastal lagoons in Baja California, México. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 73:145-182.
- Reiczigel J., Lang Z., Rozsa L., Tóthmérész B. (2005). Properties of crowding indices and statistical tools to analyze parasite crowding data. *J. Parasitol.*, 91: 245–252.

- Reiczigel J., Rozsa L., Reiczigel A., Fabian I. (2013). Quantitative Parasitology. <http://www2.univet.hu/qpweb/qp10>
- Richard A., Tweb A., Ahmed A. (2002). The checklist of the parasites of fishes of Bangladesh. FAO Fisheries Technical Paper 369/1. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome. 77pp.
- Riisgård, H. U. (2003). Regulation of opening state and filtration rate in filter-feeding bivalves (*Cardium edule*, *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*) in response to low algal concentration. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 284(1): 105-127.
- Rozsa L., Reiczigel J., Majoros G. (2000). Quantifying parasites in samples of hosts. J. Parasitol., 86: 228-232.
- Ryss, A. (2003). Express technique to prepare collection slides of nematodes. Zoosyst. Rossica. 11: 257-260.
- Safi K., Hewitt J.E., Talman S.G. (2007). The effect of high inorganic seston loads on prey selection by the suspension-feeding bivalve, *Atrina zelandica*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 344:136-148.
- Valderrama, K., Oliva M., Campos B., Brown D. (2004). Parasitic castration of *Eurhomalea lenticularis* by a digenetic trematode: quantitative histological analysis. Dis. Aquat. Organ., 59:151-158.

# Estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile. Provincia de Santa Elena Ecuador: MBON P2P una herramienta innovadora de muestreo

Community structure of the rocky intertidal at Punta Chile Beach, Santa Elena Province of Ecuador: MBON P2P, an innovative sampling tool

Víctor Andrade-Solorzano<sup>1, 2</sup>, Erika Salavarría<sup>1, 2</sup>, Luis Troccoli<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE. Facultad de Ciencias del Mar. Grupo de Investigación Bioeconomía Costera. Ecuador

<sup>2</sup>Marine Biodiversity Observation Network MBON. Ecuador

<sup>3</sup>Universidad de Oriente. Venezuela.

Correspondencia Víctor Andrade-Solorzano   vaas0006@gmail.com

Palabras clave |  
Índices ecológicos  
MBON  
Macroalgas  
Macroinvertebrados

**RESUMEN** | Texto de resumen La aplicación del protocolo de muestreo MBON P2P, que significa "Marine Biodiversity Observation Network - Pole to Pole," se ha convertido en una herramienta innovadora de muestreo en el contexto de estudios sobre la estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile, ubicada en la Provincia de Santa Elena. Para ello se realizó muestreos en la temporada de lluvias abril – julio. Este protocolo permitió la recopilación de datos sobre la diversidad de especies y los patrones de distribución en el intermareal rocoso, complementado con el uso de índices ecológicos (Dominancia de Simpson, Shannon & Wiener y Equidad de Pielou), determinando de esta forma la composición de los estratos de la zona intermareal rocosa. Se colectaron 300 muestras en las que se identificaron 32 especies en la zona intermareal en dos grupos conocidos como macroalgas (6 especies), macroinvertebrados bentónicos (26 especies).

Para macroalgas existió una marcada dominancia del género *Hypnea* spp., y el estrato con mayor diversidad de este grupo fue en la zona mesolitoral con una diversidad de Shannon de 1,36 Bits/Ind, por otro lado, para los macroinvertebrados bentónicos se detectó una dominancia del filo Mollusca en la zona intermareal y la zona más diversa fue la zona media del intermareal que presentó una diversidad de Shannon de 2,93 Bits/Ind. Este estudio contribuye al conocimiento de la diversidad de especies bentónicas en el Pacífico oriental.

#### Keywords |

Ecological indices

MBON

Macroalgae

Macroinvertebrates

**ABSTRACT** | The application of the MBON P2P sampling protocol, which stands for "Marine Biodiversity Observation Network - Pole to Pole," has become an innovative sampling tool in the context of studies on the community structure of the rocky intertidal at Punta Chile beach, located in the Province of Santa Elena. For this, sampling was carried out in the rainy season (insert the months). This protocol allowed the collection of data on species diversity and distribution patterns in the rocky intertidal, complemented with the use of ecological indices (Simpson's Dominance, Shannon & Wiener, and Pielou's Equity), thus determining the composition of the strata of the rocky intertidal zone. 300 samples were collected which 32 species were identified in the intertidal zone, distributed in two groups known as macroalgae (6 species), and benthic macroinvertebrates (26 species). For macroalgae, there was a marked dominance of the genus *Hypnea* spp., and the stratum with the higher diversity of this group was in the mesolittoral zone with a Shannon diversity of 1.36 Bits/Ind. On the other hand, for benthic macroinvertebrates the phylum was dominant Mollusca in the intertidal zone, and the most diverse zone was the middle zone of the intertidal, which presented a Shannon diversity of 2.93 Bits/Ind. This study contributes to the knowledge of the diversity of benthic species in the eastern Pacific.

## INTRODUCCIÓN

La Red de Observación de la Biodiversidad Marina (MBON) se define como una comunidad internacional que trabaja de manera colaborativa para recopilar, preservar y analizar datos de biodiversidad marina de manera continua, con el fin de adquirir conocimientos sobre la situación y las direcciones que toma la vida en los océanos, el protocolo MBON P2P es una herramienta que permite una caracterización de las comunidades de organismos presentes en la zona intermareal, este protocolo permite detectar cambios para poder generar alertas tempranas a los tomadores de decisiones mejorando la posibilidad de conservación de los entornos naturales y sus servicios ecosistémicos (Pelletier, Azofeifa-Solano, Montes, & Muller-Karger, 2022; Mendez, Livore, Márquez, & Bigatti, 2020).

La complejidad de la diversidad de las comunidades naturales se origina a partir de la influencia de diversos factores tanto físicos como biológicos. Estos elementos interactúan y pueden ser estructurados de manera jerárquica en términos de su distribución en el espacio y tiempo, donde los seres vivos reaccionan a estos factores del entorno y solo pueden habitar en un lugar específico cuando se encuentran dentro de los límites de tolerancia del organismo (Sivaperuman, Velmurugan, Singh, & Jaisankar, 2018; González, 2006; Smith & Smith, 2001).

Las zonas intermareales son áreas costeras expuestas durante la bajamar, constituyendo lugares que brindan diversos servicios ecosistémicos. Entre ellos, el principal es la biodiversidad de organismos que se pueden encontrar, creando una dinámica costera y una zonificación de especies dentro de los estratos de la misma relacionada a los requerimientos específicos de los organismos presentes (Harris, 2020; Gamboa-García, Duque, & Cogua, 2018; Fernández, Jaramillo, Marquet, Navarrete, & Vasquez, 2000). En Ecuador se han realizado algunos estudios del bento en la zona litoral entre ellos se destaca (Aerts, y otros, 2004; Cárdenas-Calle, y otros, 2020)

La zona de estudio, la playa Punta Chile en la provincia de Santa Elena, es una zona cercana a manglar al sureste de la provincia, compuesta por macroalgas, entre ellas del grupo Heterocontophyta, forman parte de la producción primaria y la recirculación de nutrientes, además de ser especies formadoras de hábitat

para otras, como la macrofauna bentónica, los mismos que son organismos visibles a simple vista y que habitan en los fondos rocosos de la zona intermareal, entre ellos podemos destacar diversos taxones como; moluscos, crustáceos, cnidarios y equinodermos (Vilchis, Dreckmann, García-Trejo, Hernández, & Senties, 2018; Dreckmann, Senties, & Nuñez, 2013; Cárdenas-Calle, y otros, 2020; Aerts, y otros, 2004)

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio ubicada al sur de la provincia de Santa Elena en el parroquia Chanduy, ubicada aproximadamente a 2km del puerto pesquero de esta comuna que es conocida por la actividad de pesca además de la extracción de otros recursos pesqueros de manglar, hacen que sea un lugar de estudio interesante debido a las condiciones que presenta, al estar cercano de un manglar, además de haberse realizado en un periodo de lluvias durante los meses de Abril, Mayo, Junio y Julio del 2023 (Fig. 1) (Torres Cruz, 2020).

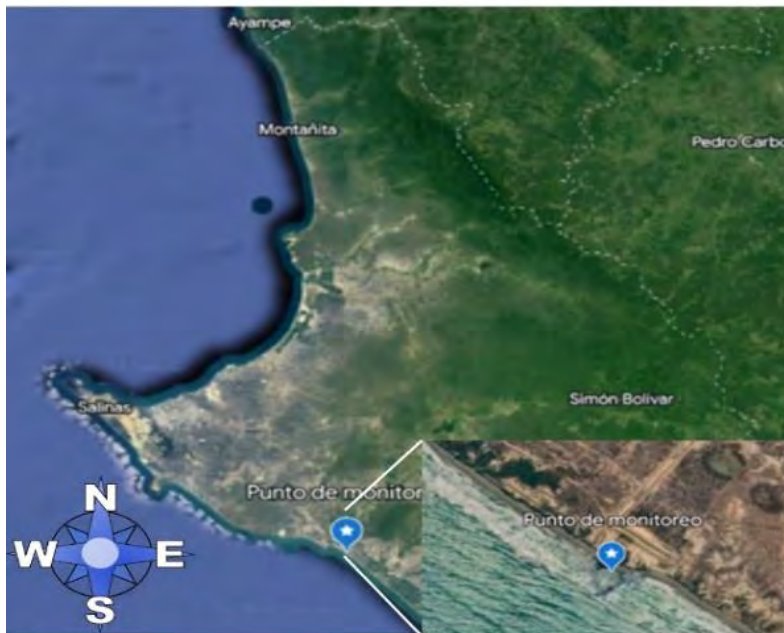


Figura 1. Punto de referencia al punto de monitoreo.



El trabajo de campo se enfocó en analizar la diversidad. Como método se utilizó de forma adaptada al área de estudio, la metodología de muestreo diseñada por el Marine Biodiversity Observation Network Pole to Pole of the Americas (MBON P2P, 2019), para la evaluación de la diversidad marina en áreas costeras rocosas. La elección de utilizar la metodología MBON se basó en el objetivo de caracterizar tanto la variedad de especies como la composición de las comunidades en los sitios de muestreo designados, como se respalda en el estudio de (Montes, y otros, 2021).

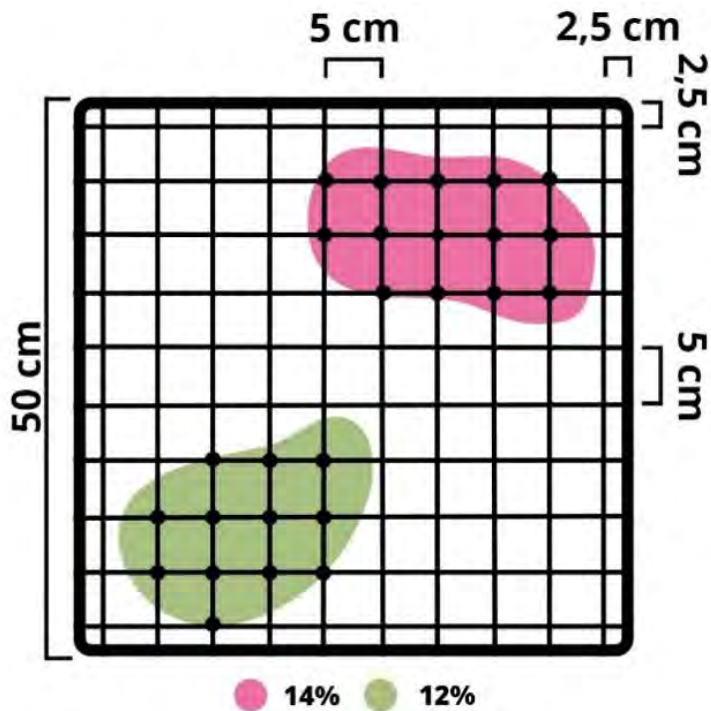


Figura 2. Metodología de cobertura de especies de macroalgas (Basado en: MBON P2P, 2019).



Figura 3. Metodología de foto cuadrante (Basado en: MBON P2P, 2019)

Se utilizó un transecto de 100 m, perpendicular a la playa en cada estrato de la zona intermareal y se obtenían datos con un cuadrante con intersecciones de 0,05 m x 0,05 m o foto cuadrante de 0,5 m x 0,5 m, para poder cubrir la zona de monitoreo en el menor tiempo posible (MBON P2P , 2019).

Se analizó en base a lo expuesto por MBON P2P (2019), se obtuvo el registro de la rugosidad presente en las zonas del intermareal rocoso, el mismo que se obtiene con ayuda de una cadena con un eslabón de 0,01 m de separación y un largo de 10 m. Los organismos que no se lograron identificar en campo se preservaron con formalina al 4% en base a lo expuesto por (Darrigran, Vilches, Legarralde, & Damborenea., 2007).

Para la identificación de las macroalgas se utilizó un estereomicroscopio para observar características de la pared celular y poder identificar hasta nivel taxonómico de género con ayuda de bibliografía especializada y bases de datos reportadas; (Acaro Mera, 2022; Vera Riera, 2021; Fajardo & Cornejo, 2021; Sanchez & Torres, 2021; Pozo Rosales, 2014; Rubira Carvache, 2012; Müller & Salazar, 1996; FAO, 1995; Taylor, 1967; Smith G. , 1966). Mientras que, para los macroinvertebrados marinos móviles y sésiles registrados, se utilizó de igual manera claves taxonómicas, literatura especializada para cada grupo taxonómico; (Ponder, Lindberg, & Ponder, 2020; Paredes, Cardoso, Santamaría, Esplana, & Llaja, 2016; Coan &

Valentich-Scott, 2012; Hickman C. , 2008; Hickman, Chiriboga, & Ober, 2005; Hickman C, 2000; Arneson, 1995; Ball & Haig, 1974; Keen, 1971; Garth, 1948).

Para determinar la estructura comunitaria de la zona intermareal, se utilizó índices ecológicos, como lo son; Dominancia de Simpson, Índice de Shannon – Wiener y Equidad de Pielou (Krebs, 1999), el análisis estadístico se realizó en Past 4.13v y las gráficas se realizaron en R con el paquete “ggplot2”.

## RESULTADOS

Como principal resultado de la estructura comunitaria para la parte de algas se identificó 6 géneros taxonómicos, de los cuales se destacó una dominancia en esta comunidad del género *Hypnea* spp., además de *Padina* spp. y *Ulva* spp. A continuación, se presenta la cobertura algal presente en la zona intermareal. (Fig. 4, Tabla 1).

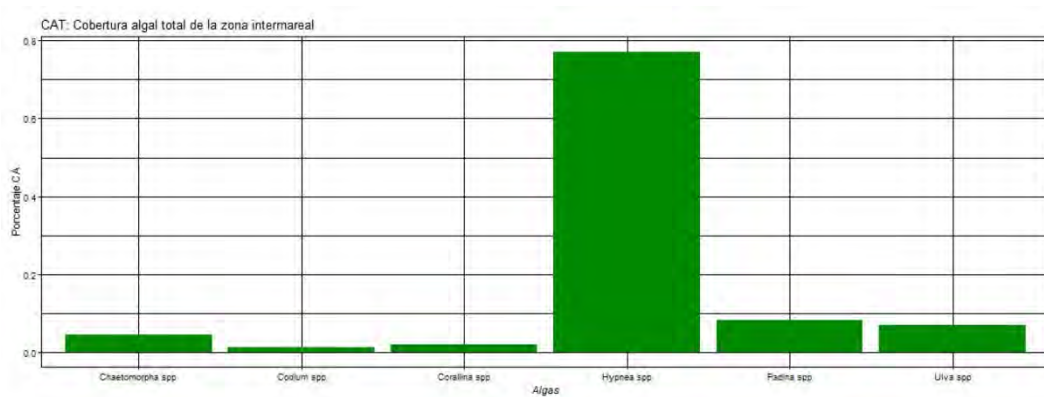


Figura 4. Cobertura algal total de la zona intermareal de la playa Piedra Punta Chile.

Tabla 1 Datos de cobertura algal total de la zona del intermareal de la playa Piedra Punta Chile.

Filo	Clase	SP	Abundancia	Porcentaje de Cobertura algal
Ochrophyta	Phaeophyceae	<i>Padina spp</i>	641	8,28%
Rodophyta	Florideophyceae	<i>Hypnea spp</i>	5973	77,11%
		<i>Corallina spp</i>	153	1,98%
		<i>Codium spp</i>	90	1,16%
Chlorophyta	Ulvophyceae	<i>Ulva spp</i>	538	6,95%
		<i>Chaetomorpha spp</i>	351	4,53%

Los valores acumulados (intersecciones totales por estrato) que representan la abundancia total, mostraron que la zona mesolitoral presentó la mayor cobertura de algas con un total de 3,133 seguida por la zona infralitoral con 2,768 y finalmente, la zona supralitoral registró un valor de cobertura de 1,845.

El análisis de la estructura comunitaria muestra que el índice de Simpson para el estrato intermareal del infralitoral mostró un valor de 0,28 bits/ind, lo que indica una diversidad moderadamente alta de géneros taxonómicos en este estrato. En contraste, los estratos de Mesolitoral y Supralitoral exhibieron valores de 0,45 bits/ind y 0,44 bits/ind respectivamente, lo que sugiere una menor diversidad de organismos diferentes y la dominancia de un grupo de organismos específicos. Sin embargo, al observar los datos del índice de Shannon & Wiener, se refleja que en la zona infralitoral hubo una baja diversidad de especies. Por otro lado, los datos de la zona supralitoral y mesolitoral indicaron una diversidad moderadamente baja.

En cuanto al índice de Equidad de Pielou, se interpretó de la siguiente manera: en la zona infralitoral, hubo una falta de uniformidad en la diversidad de especies, lo que sugiere que los géneros encontrados no fueron relativamente abundantes por igual. En cambio, los datos de la zona mesolitoral y supralitoral mostraron una uniformidad moderada en los géneros que conformaron la cobertura macroalgal en la zona intermareal rocosa. Esto indicó que existe una zonificación clara marcada por el estrato del área.



Figura 5 Análisis de la cobertura algal por estrato, Índice de Simpson, Shannon y Equidad de Pielou.

Del total de muestras (300) halladas, se registró 18 068 individuos en los tres estratos de la zona intermareal rocosa. Estos individuos pertenecen a 4 filos y 8 clases diferentes, lo que resultó en un total de 26 géneros taxonómicos que formó parte de esta zona intermareal.

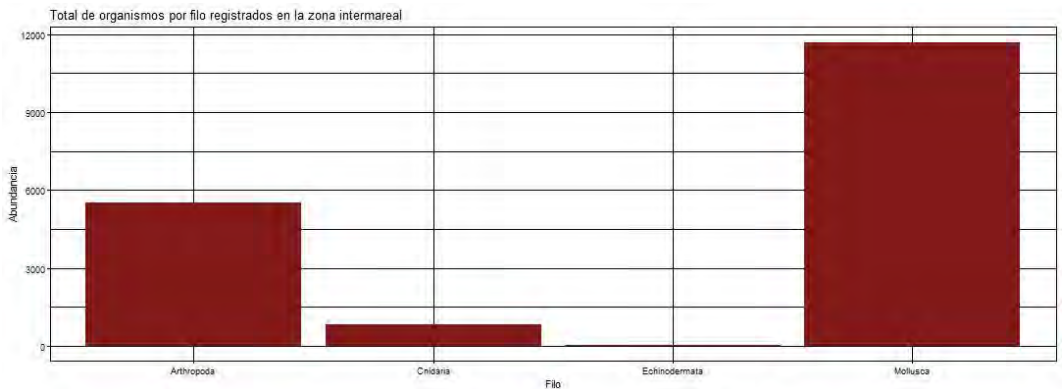


Figura 6. Registro total de individuos separado por Filo taxonómico de toda la zona intermareal rocosa.

Tabla 2. Datos totales registrados en la zona intermareal rocosa separados por filo taxonómico y estrato.

Filo	Infralitoral	Mesolitoral	Supralitoral	Total
Arthropoda	2555	1839	1132	5526
Echinodermata	21	15	1	37
Cnidaria	412	395	12	819
Mollusca	2038	4987	4661	11686
Total	5026	7236	5806	18068

Relacionando los datos de los índices ecológicos, en la zona infralitoral, el índice de Simpson mostró un valor de 0,78 bits/ind., indicando una probabilidad relativamente alta de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. El índice de Shannon reveló una diversidad moderada a alta en esta zona, lo que significó que había una combinación de especies diferentes representadas de manera equitativa. Además, el valor de equitatividad de 0,61 señaló una distribución relativamente uniforme de especies en la muestra, sin una especie dominante.

En la zona mesolitoral, el índice de Simpson registró un valor de 0,81 bits/ind., indicando una alta probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. El índice de Shannon mostró un valor de 2,93 bits/ind., lo que sugiere una diversidad moderada a alta en esta área. El valor de equitatividad de 0,66 también indicó una distribución relativamente uniforme de especies en la muestra. Comparando estos datos con los de la zona infralitoral, se confirmó la existencia de una zonificación de especies de macrofauna en la zona intermareal rocosa debido al pico de diversidad en el estrato de la mesolitoral.

En la zona supralitoral, el índice de Simpson registró un valor de 0.73 lo que sugirió una dominancia de una población o especie específica en esta área. El índice de Shannon mostró una diversidad moderada, y el índice de equitatividad indicó un valor de 0.51, lo que señaló una distribución relativamente desigual de especies en las muestras. En resumen, los datos revelaron que en la zona supralitoral hubo una especie dominante, lo que resultó en una diversidad moderada y una

distribución desigual de especies en comparación con las otras zonas intermareales.



Figura 7. Composición de la macrofauna mediante índices ecológicos separado por estratos.

## DISCUSIÓN

El concepto de zonación propuesto por (Stephenson & Stephenson, 1949), se apoya en la noción de que, salvo variaciones locales, todas las costas rocosas experimentan condiciones ambientales promedio influenciadas por las mareas. Esto conduce a la presencia de un conjunto típico de especies vegetales y animales en estas áreas. En consecuencia, se originan franjas claramente diferenciadas de distribución de organismos en estas regiones. En resumen, Stephenson postuló que las fluctuaciones de marea y las condiciones ambientales comunes dan forma a patrones de zonación predecibles en las comunidades de organismos en las costas rocosas (Silva, Vargas, Gómez, & González-González, 2006).

Los resultados de este estudio revelaron una marcada zonificación en la zona de Chanduy, provincia de Santa Elena-Ecuador, en el Pacífico Oriental donde el nivel de mareas supera los 2 metros y los organismos han desarrollado adaptaciones a estos cambios elevados (Castro Suárez, 2001; Grajales González & Vergara Chen, 2004). En el estrato supralitoral, predominan litorinidos y artrópodos del género *Chthamalus spp.* El estrato mesolitoral está dominado por

organismos filtradores como balanos y mejillones, mientras que el infralitoral se caracteriza por la presencia de corales blandos, a menudo acompañados de macroalgas del género *Hypnea* spp. y en algunos lugares con *Padina* spp., formando un ambiente típico en el intermareal rocoso (Schwindt, 2009; Cárdenas-Calle, y otros, 2020).

Este estudio representa una contribución significativa al conocimiento del sistema rocoso en la costa de Ecuador, destacando la singularidad de la zona de Chanduy en el Pacífico Oriental (Mora, Jurado, & Mendívez, 2010; Cárdenas-Calle, y otros, 2020). Los resultados subrayan la importancia ecológica de los moluscos en estos ecosistemas marinos, al desempeñar roles fundamentales en la red trófica (Lasta, Ciocco, Bremec, & Roux, 1998). Además, resalta la adaptación de los organismos a los cambios elevados en el nivel de mareas, proporcionando información valiosa sobre la biología y ecología de esta región específica (Caetano, Innocentini, Magaña, Martins, & Méndez, 2011).

## CONCLUSIONES

El entorno geográfico favorable de Chanduy y su zona cercana al manglar promueven la proliferación de moluscos, especialmente bivalvos. En la playa Punta Chile, se encontraron tres tipos de bivalvos (*Brachidontes*, *Leukoma columbiensis* y *Carditamera affinis*), coincidiendo con observaciones anteriores en el manglar regional (Guerrero & Ponguillo, 2022; Moreira Correa, 2022; Tomalá, 2022; Méndez Herrera, 2015). Estos hallazgos respaldan la influencia significativa de la estructura del hábitat en las comunidades de moluscos, afectando tanto la riqueza como la diversidad de especies. Específicamente, se destaca que los moluscos fitales se ven afectados por la arquitectura de las algas, impactando en la disponibilidad de alimento y las tasas de depredación.

Se recolectaron 25 814 organismos en 300 muestras durante 5 monitoreos en el área de estudio. La metodología implementada, utilizando foto cuadrante, permitió caracterizar rápidamente la composición de la zona intermareal. Esta metodología es práctica en áreas con mareas rápidas o condiciones físicas del agua cambiantes, como la turbidez en zonas de manglar. Se evaluó la cobertura



de macroalgas y la macrofauna asociada, observándose una correlación entre la diversidad de organismos y la cobertura algal. Los resultados indicaron que, en zonas con mayor cobertura algal, hay una diversidad moderadamente alta de macrofauna asociada, destacando la importancia ecológica de las macroalgas como hábitat y nicho ecológico para diversas especies marinas.

La metodología aplicada en este estudio se puede describir como tridimensional (3D) ya que implica la observación detenida de un cuadrante de 50 x 50 cm en la zona rocosa, centrándose en grietas o pozas del intermareal. Es importante destacar que el monitoreo en el intermareal es aleatorio y se divide por estratos a través de una línea imaginaria o física. El objetivo principal es obtener información sobre la diversidad total de organismos en un estrato del intermareal. Comparado con un enfoque bidimensional (2D) en el área rocosa, esta metodología proporciona datos de diversidad más completos. Esta metodología está diseñada para establecer un monitoreo continuo una vez que se ha recopilado información sobre las especies presentes en un lugar (Ortiz-Sartorius, y otros, 2022; MBON P2P , 2019).

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE y a los miembros de la red MBON en especial al Ph.D. Enrique Montes, por la apertura brindada para realizar esta investigación con el protocolo Polo a Polo, MBON P2P.

## REFERENCIAS

Acaro Mera, I. (2022). Variación estacional de las macroalgas de la zona intermareal, Playa Chabela, provincia del Guayas, Ecuador. Obtenido de Universidad de Guayaquil.

Aerts, K. V., Degraer, S., Guartatanga, S., Wittoeck, J., Fockede, N., & Vincx, M. (2004). *Macrofaunal community structure and zonation of an Ecuadorian sandy beach (bay of Valdivia)*. . Belgian Journal of Zoology, 134(1), 17-24.

- Arneson, C. (1995). *Tropical Pacific Invertebrates. A fieldGuide to the Marine Invertebrates Occurring on Tropical Pacific Coral Reefs, Seagrass Beds and Mangroves*. Coral Reef Press: Irvine, USA. 1-296.
- Ball, E., & Haig, J. (1974). Hermit crabs from tropical eastern Pacific: Distribution, color and natural history of some common shallow-water species. *Bulletin of Southern California. Academy of Sciences* 73 (2): 95-104.
- Caetano, E., Innocentini, V., Magaña, V., Martins, S., & Méndez, B. (2011). *Cambio climático y el aumento del nivel del mar. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (segunda edición): México, Universidad Autónoma Metropolit.*
- Cárdenas-Calle, M., Mora, E., Torres, G., Pérez-Correa, J., Bigatti, G., Signorelli, a., & Coronel, J. (2020). Marine invertebrate and seaweed biodiversity of continental coastal Ecuador. *Biodiversity Data Journal* 8: e5381.
- Castro Suárez, L. Á. (2001). *Influencia de la marea en la variación de los niveles de parámetros hidroquímicos en el Pacífico colombiano (Ensenada de Tumaco)*.
- Coan, E., & Valentich-Scott, P. (2012). *Bivalve seashells of tropical west America: Marine bivalve mollusks from Baja California to Northern Peru. Part 1 and Part 2. Santa Barbara Museum of Natural History Monographs Number 6, Studies in Biodiversity 4: 1-1258.*
- Darrigran, G., Vilches, A., Legarralde, T., & Damborenea., C. (2007). *Guía para el estudio de macroinvertebrados. I.- Métodos de colecta y técnicas de fijación. ProBiota, Serie Técnica y Didáctica Nro 10. 86 pp.*
- Dreckmann, K., Senties, A., & Nuñez, L. (2013). *Biología de Algas*. Obtenido de Universidad metropolitana unidad Iztapalapa: .
- Fajardo, N. C., & Cornejo, X. (2021). An updated review of marine macroalgae from continental Ecuador. Obtenido de Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

- FAO. (1995). Guía fao para la identificación de especies para los fines de la pesca. .
- Fernández, M., Jaramillo, E., Marquet, P. A., Navarrete, S. A., & Vasquez, J. A. (2000). Diversity, dynamics and biogeography of Chilean benthic nearshore ecosystems: an overview and guidelines for conservation. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73: 797-830.
- Gamboa-García, D. E., Duque, G., & Cogua, P. (2018). *Dinámica de la estructura y composición de macroinvertebrados y su relación con las variables ambientales en la bahía de Buenaventura*. . Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 47(1).
- Garth, J. (1948). The Brachyura of the Askoy Expedition with remarks on carcinological collecting in the Panam Bight. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 92: 1-66.
- González, A. R. (2006). *Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. . Pontificia Universidad Javeriana.
- Grajales González, G. G., & Vergara Chen, C. (2004). *Cambios temporales en la abundancia y diversidad de poliquetos en un área de la zona entre mareas de Playa Bique. Pacífico de Panamá*.
- Guerrero, K., & Ponguillo, V. (2022). *Diversidad de macroinvertebrados asociados al ecosistema refugio de vida silvestre de la parroquia El Morro, Guayas, Ecuador, octubre 2021 - Febrero 2022*. Repositorio UPSE.
- Harris, P. T. (2020). *Biogeography, benthic ecology and habitat classification schemes*. In *Seafloor geomorphology as benthic habitat* (pp. 63-96). Elsevier.
- Hickman C, T. Z. (2000). *Guía de campo de los crustáceos de Galapagos. Serie vida Marina de Galapagos*. Sugar Spring Press, Lexington, USA, 156 pp.
- Hickman, C. (2008). *A field guide to corals and other radiates of Galapagos*. Sugar Spring Press, Lexington, USA, 162 pp.

- Hickman, C., Chiriboga, A., & Ober, W. (2005). *A field guide to corals of Galpagos*. Sugar Spring Press, Lexington, USA, 54 pp.
- Holthuis, L. (1952). *A general revision of the Palaemonidae (Crustacea Decapoda Natantia) of the Americas. II The subfamily Palaemoninae*. Research Associate Allan Hancock Foundation I, 396 pp.
- Keen, M. (1971). *Sea shells of tropical west America: Marine mollusks from Baja California to Peru. Second edition*. Stanford University Press, California, USA, 1064 pp.
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology*. Benjamin/Cumming 760 p. California.
- Lasta, M. L., Ciocco, N. F., Bremec, C., & Roux, A. (1998). *Moluscos bivalvos y gasterópodos*.
- Londoño-Cruz, E., Cantera-Kintz, J., Barreto, G., Mesa-Agudelo, L. L., Zapata, F. G., & Giraldo-Cardona, A. (2013). *Moluscos comunes del ecosistema rocoso marino del Pacífico colombiano: Una guía rápida para su identificación*. Editorial Universidad del Valle, Cali, 33 pp.
- MBON P2P . (2019). *Marine Biodiversity Observation Network Pole to Pole of the Americas*. Obtenido de Sampling protocol for assessment of marine diversity on rocky shores.
- Méndez Herrera, A. E. (2015). *Abundancia y diversidad de comunidades de moluscos macrobentónicos asociados en la zona intermareal rocosa de Chanduy en la provincia de Santa Elena-Ecuador Durante los meses de Agosto del 2014-Enero del 2015*. La Libe.
- Mendez, M. M., Livore, J. P., Márquez, F., & Bigatti, G. (2020). *Mass mortality of foundation species on rocky shores: another reason why monitoring programs are relevant*. . bioRxiv, 2020-10.

- Montes, E., Lefcheck, J. S., Guerra-Castro, E., Klein, E., Kavanaugh, M. T., de Azevedo Mazzuco, A. C., & Muller-Karger, F. E. (2021). *OPTIMIZAR EL ESFUERZO DE MUESTREO DE BIODIVERSIDAD A GRAN ESCALA*. *Oceanografía*, 34(2), 80-91.
- Mora, E., Jurado, V., & Méndez, W. (2010). *Diversidad de macroinvertebrados en la plataforma continental de Ecuador*.
- Moreira Correa, X. F. (2022). *Diversidad y abundancia de bivalvos en sedimentos de remanentes de los manglares de Chanduy, Manglaralto y Palmar, período 2021-2022 (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022.)*.
- Morris, P. (1966). *A field guide to Pacific coast shells: Including shells of Hawaii and the Gulf of California*. Houghton Mifflin, Boston, USA, 297 pp.
- Müller, H., & Salazar, M. (1996). *Algas Marinas del Ecuador (1ered.)*. Guayaquil: Comision Asesora Ambiental . Instituto Nacional de pesca.
- Ortiz-Sartorius, A., Correa-Sandoval, F., Ávila, S. P., Santamaría-Del-Ángel, E., Montañó-Moctezuma, G., & Mejía-Trejo, A. (2022). *Comparación de métodos de muestreo de macrofauna bentónica en el intermareal rocoso de Isla Guadalupe, México*. *Brazilian Jou*.
- Paredes, C., Cardoso, F., Santamaría, J., Esplana, J., & Llaja, L. (2016). *Lista anotada de los bivalvos marinos del Perú*. . *Revista peruana de biología*. 23(2), 127-150. [details] .
- Pelletier, D., Azofeifa-Solano, J. C., Montes, E., & Muller-Karger, F. E. (2022). *Marine Biodiversity Observation Network (MBON)*. . *Frontiers in Marine Science*, 8, 832328.
- Ponder, W. F., Lindberg, D. L., & Ponder, J. M. (2020). *Biology and Evolution of the Mollusca*. . CRC Press, Boca Raton, Florida. Vol. 2.
- Pozo Rosales, M. Á. (2014). *Biodiversidad de macroalgas en los bajos 52, casa Lobos y Aquapark, de la Remacopse demostrando la importancia y*

dominancia de géneros a diferentes profundidades, durante los meses de agosto 2013 a enero 2014. La Libertad, Sant.

Rubira Carvache, K. (2012). Diversidad, abundancia y distribución de las macroalgas en la zona intermareal rocosa en las playas de salinas, la libertad y ballenita (península de santa elena – ecuador octubre – noviembre 2009)". Obtenido de Tesis de maestr.

Sanchez, & Torres. (2021). Variación espacio-temporal en la composición de macroalgas en la zona intermareal rocosa en Salango, provincia de Manabí, Ecuador. Manabi, Ecuador. UG.

Schwindt, E. (2009). *El ambiente intermareal*.

Silva, C. F., Vargas, D. R., Gómez, N. A., & González-González, J. (2006). *Patrón de distribución de macroalgas en un canal de corrientes. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 9(2), 65-72.*

Sivaperuman, C., Velmurugan, A., Singh, A. K., & Jaisankar, I. (2018). Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Island. Elsevier. 7: (187-215).

Smith, G. (1966). Marine algae of the monterrey peninsula california.

Smith, T., & Smith, R. (2001). Ecología. Addison-Wesley, Madrid.

Stephenson, T., & Stephenson. (1949). *The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts. J. Ecol. 289-305.*

Taylor, R. (1967). Géneros de algas marinhas de la Costa Atlántica Latinoamericana.

Tomalá, J. (2022). *Diversidad de Moluscos y Crustáceos Macro Bentónicos en la zona intermareal rocosa de la playa de Chanduy – Comuna El Real. La libertad - Ecuador: UPSE.*

Torres Cruz, B. J. (2020). *Análisis de la responsabilidad social ambiental en las industrias pesqueras de la parroquia Chanduy*. (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2020).

Vera Riera, N. (2021). Composición y estructura de macroalgas en la zona mesolitoral rocosa de Súa, provincia de Esmeraldas, Ecuador. Obtenido de UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.

Vilchis, M. I., Dreckmann, K. M., García-Trejo, E. A., Hernández, O. E., & Senties, A. (2018). *Patrones de distribución de las grandes macroalgas en el golfo de México y el Caribe mexicano: una contribución a la biología de la conservación*. *Rev. Mex. Biodiv.* vol.89 no.1 México mar. 2018. doi:<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2226>



# Ictioplancton del río Paraná (Misiones, Argentina) en las diferentes etapas de llenado del embalse de Yacyretá

## Ichthyoplankton of the Paraná River (Misiones, Argentina) in the different stages of Yacyretá reservoir's filling

Alicia Álvarez, María José Kuchurak,  
Gladys Graciela Garrido, Danilo Ramón Aichino  
Proyecto Ictioplancton del Río Paraná y tributarios,  
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales,  
Universidad Nacional de Misiones, Argentina

Correspondencia Alicia Álvarez   ayalvz@gmail.com

Palabras clave |  
ictioplancton,  
embalse,  
Yacyretá,  
Argentina.

**RESUMEN** | La represa de Yacyretá se encuentra emplazada sobre el río Paraná y su principal objetivo es proveer energía hidroeléctrica para el sistema energético de los países de Argentina y Paraguay, considerando, además, beneficios secundarios como la construcción de esclusas para mejorar la navegación, el riego, entre otros. El objetivo de este trabajo es analizar la variación de la composición de la comunidad ictioplanctónica a través de las diferentes etapas de llenado del embalse de Yacyretá. Las muestras fueron obtenidas siguiendo un protocolo estandarizado, las colectas se procuraron en aguas subsuperficiales (hasta 2 metros de profundidad) y en horarios nocturnos; se utilizaron redes cilíndrico-cónicas con malla de 500  $\mu\text{m}$  equipadas con correntómetro mecánico. Se establecieron estaciones de muestreo aguas abajo del embalse, en el embalse y aguas arriba de la presa.

Considerando el cambio profundo ocurrido a nivel de ecosistema y paisaje se comprueba que la comunidad íctica mantiene su actividad reproductiva, lo que se refleja en la composición de la comunidad ictioplanctónica, suponiendo adaptaciones a los nuevos ambientes producidos por el sucesivo llenado del embalse de la represa de Yacyretá.



Se verifican 23 especies constantes en la zona, que se colectaron durante todas las etapas de llenado. La curva de acumulación de especies muestra que el sistema de datos se satura a las 42 especies. Entre las especies constantes en el periodo estudiado se encuentran algunas de importancia económica como *Salminus brasiliensis*, *Pimelodus maculatus*, *Pseudoplatystoma* sp, entre otros. Aguas arriba de la presa es importante destacar el rol de los cauces secundarios como sitios de reproducción y cría de los primeros estadios ontogenéticos de peces, por ello es necesario seguir monitoreando los subembalses y arroyos.

Keywords |  
ichthyoplankton,  
reservoir,  
Yacyretá,  
Argentina.

**ABSTRACT** | The Yacyretá dam is located on the Paraná River and its main objective is to provide hydroelectric energy for Argentina and Paraguay, also considering secondary benefits such as the construction of locks to improve navigation, irrigation, among others. The objective of this work is to analyze the variation in the composition of the ichthyoplankton community through the different filling stages of the Yacyretá reservoir. The samples were obtained following a standardized protocol, the collections were obtained in subsurface waters (up to two meters deep) and at night; Cylindrical-conical nets with a 500 µm mesh equipped with a mechanical current meter were used. Sampling stations were established downstream of the reservoir, in the reservoir, and upstream of the dam. Considering the profound change that occurred at the ecosystem and landscape level, it is confirmed that the fish community maintains its reproductive activity, which is reflected in the composition of the ichthyoplankton community, assuming adaptations to the new environments produced by the successive filling of the dam reservoir. from Yacyretá. Twenty-three constant species are verified in the area, which were collected during all filling stages. The species accumulation curve shows that the data system saturates at forty-two species. Among the constant species in the period studied are some of economic importance such as *Salminus brasiliensis*, *Pimelodus maculatus*, *Pseudoplatystoma* sp, among others. Upstream of the dam, it is important to highlight the role of the secondary channels as breeding and breeding sites for the first ontogenetic stages of fish, which is why it is necessary to continue monitoring the sub-reservoirs and streams.

## INTRODUCCIÓN

El río Paraná es el décimo río más largo en el mundo, con una superficie de 1,5 millones de kilómetros cuadrados, desde su nacimiento en Brasil hasta su desembocadura en el Río de la Plata (UNL, 2009).

La represa de Yacyretá se encuentra emplazada sobre el río Paraná y su principal objetivo es proveer energía hidroeléctrica para el sistema energético de los países de Argentina y Paraguay, considerando, además, beneficios secundarios como la construcción de esclusas para mejorar la navegación, el riego, entre otros (Fulco, 2011).

La obra civil comenzó en 1983 y el llenado del embalse se realizó en etapas, comenzando en 1994 y finalizando en 2011 (Zalocar *et al.*, 2007). Ante las nuevas características físicas y químicas provocadas por la instalación de una barrera física, la estructura y la dinámica de las comunidades acuáticas durante todos estos años se vieron modificadas, principalmente sobre la comunidad íctica en los tramos ubicados aguas arriba del embalse.

El estudio del ictioplancton tiene como objetivo analizar la dinámica de las poblaciones de peces, detectar la actividad reproductiva y comprender el uso del hábitat durante la reproducción y la ontogenia temprana. El monitoreo de la composición, abundancia y distribución de huevos y larvas de peces, permite explorar la respuesta de las principales poblaciones de peces a los cambios producidos en este proceso de transformación ambiental, puesto que las primeras etapas de desarrollo ontogenético son más sensibles a los cambios del ambiente y es por ello que el monitoreo de esta comunidad aporta información clave para comprender la influencia de los factores ambientales en el periodo de desove, distribución y abundancia de huevos y larvas de peces.

El objetivo de este trabajo es analizar la variación de la composición de la comunidad ictioplanctónica a través de las diferentes etapas de llenado del embalse de Yacyretá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se seleccionaron tres zonas con características hidrológicas distintas: la zona I corresponde a un tramo del río aguas arriba de la presa, sin influencia del embalse; la zona II corresponde a un área de embalse y la zona III es un tramo del río debajo de la presa. La ubicación de las estaciones de muestreo y su agrupación por zonas se presenta en Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación y denominación de las zonas y estaciones de muestreo.

<u>Zona I</u> Aguas arriba del Embalse – Tramo Fluvial.		<u>Zona II</u> Embalse		<u>Zona III</u> Aguas abajo del embalse – Tramo Fluvial	
Ubicación	Nombre	Ubicación	Nombre	Ubicación	Nombre
Progresiva Km 1663 – Puerto Bella Vista (MD) - Puerto Maní (MI)	PMA	Progresiva Km 1586 Encarnación (MD) Posadas (MI)	PDA	Progresiva Km1.379 Panchito López (MD) – Itá Ibaté (MI)	ITA
Progresiva Km 1.623 Isla Toroy (MD) Arroyo Yabebiry (MI)	YBC	Progresiva Km 1597 Subembalse Arroyo Garupá (MI)	GPA	Progresiva Km 1243 Paso de la Patria	PAS
Progresiva Km 1.623 Arroyo Yabebiry	YBM	Progresiva Km 1597 Desembocadura Arroyo Garupá	GPR		
Progresiva Km 1.623 Arroyo Yabebiry Puente Ruta 12	YBP	Progresiva Km 1597 Arroyo Pindapoy	PNP		

## Metodología de campo

Las muestras fueron obtenidas siguiendo un protocolo estandarizado: las colectas se procuraron en aguas subsuperficiales (hasta 2 metros de profundidad) y en horarios nocturnos; se utilizaron redes cilíndrico-cónicas con malla de 500  $\mu\text{m}$  equipadas con correntómetro mecánico que permitió estimar los volúmenes filtrados a 100m<sup>3</sup>. Se establecieron estaciones de muestreo aguas abajo del embalse, en el embalse y aguas arriba de la presa.

La red se operó en forma pasiva en las estaciones de la Zona I y III, y en la Zona II y en los tributarios en forma activa. En cada estación obtuvo una muestra y una réplica. La fijación del material colectado se realizó en campo, mediante alcohol 96° para la muestra y una solución de formaldehído al 4% para la réplica.

## Metodología de laboratorio

En laboratorio, se realizó la separación del material biológico, huevos y larvas de peces, del resto de material de deriva bajo lupa de mano y, para la identificación y cuantificación, se utilizó microscopio estereoscópico. En la determinación taxonómica del material larval, se utilizaron colecciones de referencia y diversas publicaciones técnicas. Los datos fueron cargados a planillas de Microsoft Excel y posteriormente analizados en el programa Infostat.

Se trabajó con la base de datos histórica del Proyecto Biología Pesquera Regional (FCEQyN-UNaM), que contiene datos de la comunidad ictioplanctónica del río Paraná y tributarios en la provincia de Misiones desde el año 1999.

## RESULTADOS

Los datos recolectados se agrupan en 5 etapas de llenado del embalse y una última etapa de cota final de diseño. Los periodos que se contemplan pueden observarse en la tabla 2. Es importante destacar que durante las etapas 1 y 2 de llenado del embalse, y parte de la etapa 3, no se habían iniciado los estudios en la zona, por lo que no se tienen datos de la comunidad ictioplanctónica.

Tabla 2. Etapas de llenado del embalse

Etapa	Fecha	COTA (m.s.n.m.)
1 cierre	Abril a junio de 1994	De 69 a 71
2	Junio a agosto de 1994	De 71 a 75
3	Septiembre de 1994 a abril de 2006	De 75 a 78
4	Abril de 2006 a octubre de 2009	De 78 a 80
5	Octubre de 2009 a febrero de 2011	De 80 a 83
6 Cota definitiva	Febrero 2011 a la actualidad	Cota 83 final de diseño

Los cambios a nivel de paisaje en el transcurso de las diferentes etapas de llenado pueden observarse en la Figura 1.

Se analizó la composición en la comunidad ictioplanctónica reconociendo 23 especies constantes en la zona según el Índice de constancia de Bodenheimer (Dajoz, 2002). Entre las especies constantes en el periodo estudiado se encuentran algunas de importancia económica como *Salminus brasiliensis*, *Pimelodus maculatus*, *Pseudoplatystoma* sp, entre otros (Tabla 3). Se verificó un aumento progresivo de la riqueza en las diferentes etapas (Figura 2)

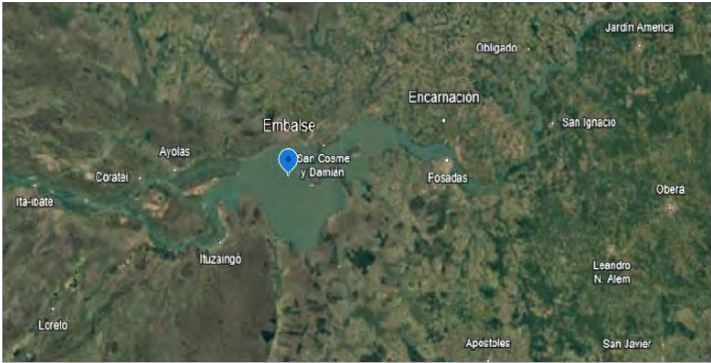
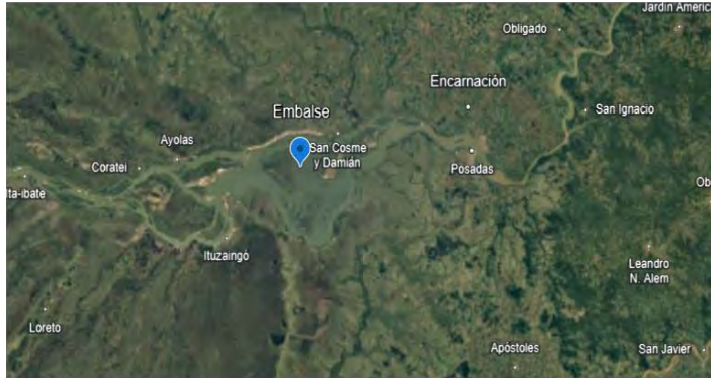


Figura 1. Modificaciones del paisaje en diferentes etapas de llenado del embalse

Tabla 3. Especies constantes en todo el periodo analizado (1999-2022)

Especies
<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>
<i>Apareiodon affinis</i>
<i>Auchenipterus osteomystax</i>
<i>Bryconamericus stramineus</i>
<i>Catathyridium jenynsi</i>
<i>Cetopsis gobioides</i>
<i>Hoplias</i> sp
<i>Hypophthalmus oremaculatus</i>
<i>Iheringichthys labrosus</i>
<i>Lycengraulis grossidens</i>
<i>Moenkhausia bonita</i>
<i>Moenkhausia dichroua</i>
<i>Pimelodus maculatus</i>
<i>Plagioscion ternetzi</i>
<i>Prochilodus lineatus</i>
<i>Pseudoplatystoma</i> sp.
<i>Raphiodon vulpinus</i>
<i>Salminus brasiliensis</i>
<i>Serrasalmus marginatus</i>
<i>Trachelyopterus lucenai</i>
<i>Zungaro jahu</i>

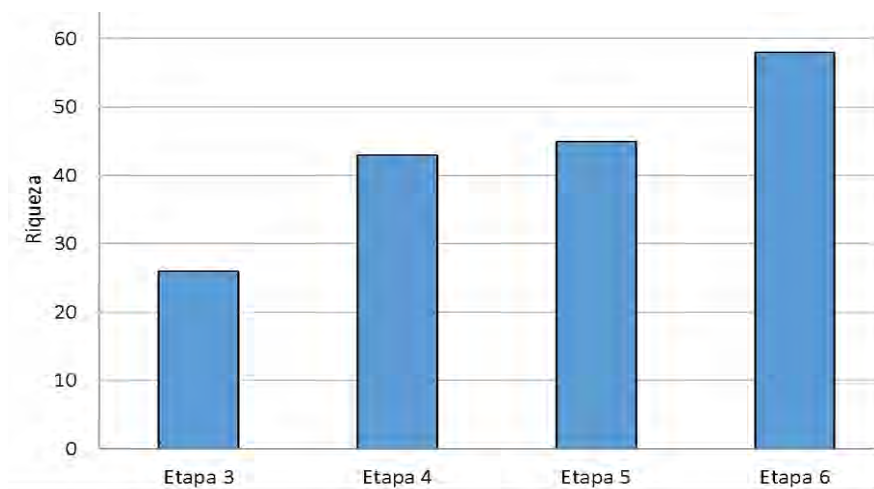


Figura 2. Riqueza especifica en las distintas etapas de llenado

La curva de acumulación de especies muestra que el sistema de datos se satura a las 42 especies (Figura 3).

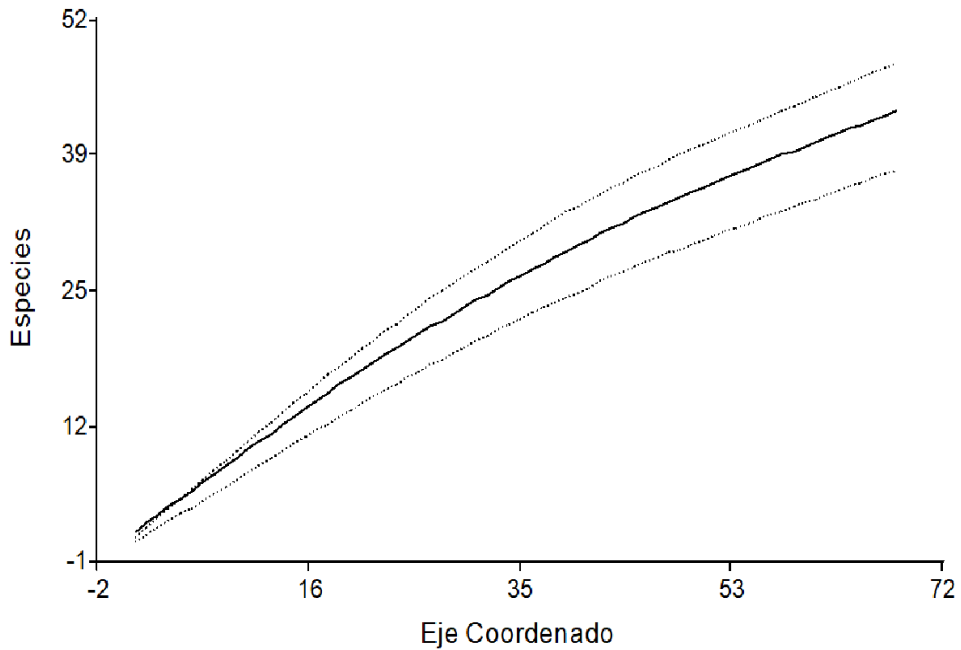


Figura 3. Curva de Acumulación de especies

## DISCUSIÓN

La construcción de presas, tal como afirman Oldani *et al.* (2007), fragmenta el paisaje fluvial y podría tener efectos sobre la comunidad íctica creando una barrera física para el movimiento longitudinal de los peces, así como la reducción de su diversidad.

El análisis de los datos de la comunidad ictioplanctónica de la zona de influencia de la represa de Yacyretá muestra que, si bien las especies más frecuentes fueron todas de pequeño porte y sin valor pesquero significativo, se registra la reproducción de especies de valor económico y de gran porte.



Entre las especies que utilizan el área para su reproducción, se destaca *Plagioscion ternetzi* cuya captura es frecuente en diferentes estados de desarrollo larval. En el área del embalse de Itaipú, Suzuki *et al.* (2009) observaron que los individuos en reproducción frecuentaban principalmente los pequeños tributarios; y Nakatani (1994) señala que diversas especies desovan en los tributarios y los huevos y larvas son transportados por las corrientes hasta el cuerpo del embalse, siendo las regiones de transición entre ambientes lóticos y leníticos las áreas de crecimiento.

Vasconcelos *et al.* (2022) también analizaron al ictioplancton en embalses y concluyen que en estos ambientes modificados se verifica actividad ictioplanctónica, destacando como las larvas exitosas, especialmente a grupos con comportamiento pelágico, condiciones adaptativas y que desovan dentro del embalse, como Perciformes y Clupeiformes y el género *Hypophthalmus*, coincidiendo con nuestros resultados.

## CONCLUSIONES

Considerando el cambio profundo ocurrido a nivel de ecosistema y paisaje se comprueba que la comunidad ictica mantiene su actividad reproductiva, lo que se refleja en la composición de la comunidad ictioplanctónica, suponiendo adaptaciones a los nuevos ambientes producidos por el sucesivo llenado del embalse de la represa de Yacyretá. Es importante destacar el rol de los cauces secundarios aguas arriba de la presa como sitios de reproducción y cría de los primeros estadios ontogenéticos de peces, por ello es necesario seguir monitoreando los subembalses y arroyos.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue parte de las investigaciones realizadas por convenios financiado por la Entidad Binacional Yacyretá y la Universidad Nacional de Misiones

## REFERENCIAS

- Aparicio R., Roda L., Albi M., Gutiérrez F. Universidad Nacional del Litoral. (2009). El Rio Paraná: Sus Características *Recorriendo Santa Fe* Ficha Nro 5
- Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4150-4155.:1-2
- Dajoz, R.: (2002) *Tratado de Ecología*, Mundi Prensa, Madrid, España
- Fulco, C.A. (2011). El paisaje costero como factor de integración: el proyecto hidroeléctrico Yacyretá y las transformaciones del paisaje en las zonas urbano-costeras de las ciudades involucradas, en el periodo 2005-2010 Tesis para optar por el grado de Magíster Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Arquitectura y Urbanismo Maestría: “Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad” 1-289
- Nakatani, K.N. (1994). Estudio do ictioplâncton no reservatório de Itaipu (Rio Paraná-Brasil): Levantamento das áreas de desova. Tesis presentada en la Universidade Federal do Paraná, para la obtención del grado de Doctor en Ciencias. Curitiba. 254p.
- Oldani, N. O.; Baigún, C.R.M; Nestler, J.M.; Goodwin, R.A. (2007). Is fish passage technology saving fish resources in the lower La Plata River basin, *Neotropical Ichthyology* 5, pp. 89-102.
- Suzuki, H. I.; Agostinho, A. A.; Bailly, D.; Gimenes, M. F.; Júlio-Junior, H. F. y Gomes, L. C. (2009). Inter-annual variations in the abundance of young of the year of migratory fishes in the Upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. *Brazilian Journal of Biology*, 69(2), 649-660.
- Vasconcelos, L., Alves, D.; Agostinho, A.; Hahn, L.; da Câmara, L., Gomes, L. (2022). Fish eggs and larvae drifting through hydropower reservoirs: a case study in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia*. 849 (2) 357–372

Zalocar Y, Poi de Neiff A, Casco SL. (2007). Abundance and diversity of phytoplankton in the Paraná River (Argentina) 220 km downstream of the Yacyretá reservoir. Braz. J. Biol. 67 (1), 53–63.



# Bioinvasores: efectos e impactos en América del Sur

## Bioinvaders: effects and impacts in South America

Gustavo Darrigran<sup>1,2</sup>, Rodolfo Elias<sup>3</sup>,  
Jaubet María Lourdes<sup>3</sup>, Lucas Rieger de Oliveira<sup>4</sup>,  
Ximena Maria Constanza Ovando<sup>4</sup>, Simone Jaqueline Cardoso<sup>4,6</sup>,  
Carlos Eduardo Belz<sup>5</sup>, Alfredo Vilches<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Exactas y Naturales. Laboratorio de Investigación e Innovación en educación en Ciencias Exactas y Naturales (LIIECEyN, IdIHCS). Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.

<sup>2</sup>CONICET. Museo de La Plata, FCNyM-UNLP. La Plata, Argentina.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, IIMyC – UNMdP. Dean Funes 3350, 7600 - Mar del Plata, Argentina

<sup>4</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

<sup>5</sup>Universidade Federal do Paraná. Centro de Estudos do Mar. Laboratório de Ecologia Aplicada e Bioinvasões – LEBIO. Panamá.

<sup>6</sup>Graduate Program in Biodiversity and Nature Conservation, Institute of Biology, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora 36036-900, MG, Brazil

Correspondencia Gustavo Darrigran  [invasion@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:invasion@fcnym.unlp.edu.ar)

**Palabras clave |**  
Macroinvertebrados,  
Vectores,  
invasiones biológicas,  
modelos,  
pérdida de  
biodiversidad,  
educación.

**RESUMEN |** En la actualidad, el ritmo de pérdida de la biodiversidad resulta significativo. La modificación del hábitat y el establecimiento de especies no nativas invasoras son dos importantes causas de esta pérdida. Las especies no nativas están muy extendidas por América del Sur, sin embargo, el estado y la distribución de algunas de estas especies aún no está claro (a excepción del grupo moluscos). La información explicitada en nuestro estudio, a través de cinco puntos de vista sobre el tema especies no-nativas/especies invasoras, colaboran en identificar áreas susceptibles de invasión de especies no-nativas en América del Sur y apoyar la gestión y toma de decisiones locales y regionales de las especies ya detectadas.

Keywords |  
 Macroinvertebrates,  
 Vectors,  
 biological invasions,  
 models,  
 loss of biodiversity,  
 education

ABSTRACT | Currently, the speed of biodiversity loss is significant. Habitat modification and the establishment of invasive non-native species are two important causes of this loss. Non-native species are widespread throughout South America, however, the status and distribution of some of them is still unclear (with the exception of mollusks). The information of our study presents five points of view on non-native/invasive species, collaborates in identifying susceptible areas to invasion of non-native species in South America and helps local and regional management and decision-making on the species already detected.

## INTRODUCCIÓN

Si bien la humanidad es consciente de la severa crisis que atraviesa la biodiversidad del planeta, la importancia que esta tiene para el funcionamiento de los ecosistemas y la prestación de servicios que benefician el bienestar humano (Torres *et al.* en prensa), parece existir en las sociedades una incapacidad de controlar a una serie de factores que actúan desestabilizando el dinámico equilibrio existente en el componente biológico de la biodiversidad (variedad de especies, variabilidad genética y ecosistémica) y que afecta a los otros cuatro componentes de la biodiversidad (económico-política, filosófica, sociocultural y educativa), según el concepto planteado por Castro, *et al.* (2021). Como ejemplos de estos factores, se destacan entre otros, uso no sustentable de la tierra, contaminación, sobreexplotación de recursos y, si bien estos factores no están en orden de jerarquía, entre los primeros en importancia, se ubican las invasiones biológicas o bioinvasiones (Darrigran, *et al.* 2023). Además, el éxito invasor de estas especies no-nativas se encuentra favorecido por impactos ocasionados por los otros factores, como por ejemplo el cambio climático (Miyahira, *et al.* 2022).

Las bioinvasiones, están conformadas por especies no-nativas (Tabla 1) traídas en forma intencional o no por la humanidad, lo cual les permitió superar las barreras naturales que definían su rango de distribución natural y que, una vez establecidas en el nuevo ecosistema, se dispersan y generan un impacto en el ambiente natural y efectos en ambientes artificiales (Figura 1) (Darrigran, *et al.* 2022).

## Tipo de especies

**Especie nativa.** Especies que viven dentro de su área de distribución natural o dentro de un área a la que han llegado sin intervención humana.

**Especies no-nativas.** Especies cuya presencia en una región es atribuible a las actividades humanas, que les permiten superar las barreras naturales que definían su rango de distribución natural.

**Especies no-nativas invasoras.** Especies exóticas que lograron establecerse, que se dispersan y generan un impacto en los ecosistemas, en las especies locales y, potencialmente, efectos en poblaciones humanas.

Tabla 1. Definiciones tomadas de IPBES (2023)

Tipo de especies	
Especie nativa	Especies que viven dentro de su área de distribución natural o dentro de un área a la que han llegado sin intervención humana.
Especies no-nativas	Especies cuya presencia en una región es atribuible a las actividades humanas que les permiten superar las barreras naturales que definían su rango de distribución natural.
Especies no-nativas invasoras	Especies exóticas que lograron establecerse que se dispersan y generan un impacto en los ecosistemas, en las especies locales y, potencialmente, efectos en poblaciones humanas.



Figura 1. Impactos ambientales y efectos de las especies invasoras sobre la sociedad

Los efectos e impactos de las especies invasoras evidencian la falta de estrategias de gestión eficaces para controlar su propagación y mitigar sus impactos en la biodiversidad nativa (de Lucía et al. 2023).

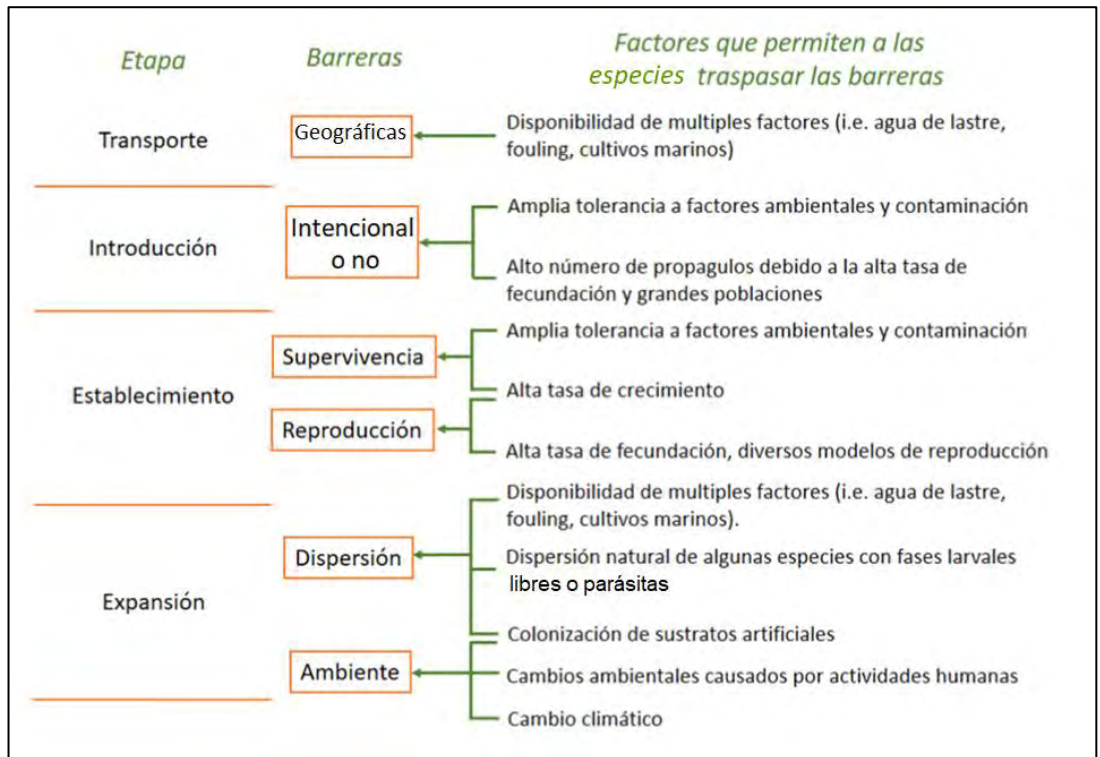
Como se mencionó en párrafos anteriores, la propagación de especies no-nativas, donde algunas pueden transformarse en invasoras al cubrir algunas o todas de una serie de características necesarias (véase Tabla 2), se encuentra facilitada por la globalización (Böhm, et al. 2021), es decir, la integración de las economías de todo el mundo, especialmente a través del comercio.

Tabla 2. Características de especies acuáticas invasoras (Morton, 1996)

<b>1.- un corto período de vida</b> (ej.: 2 – 3 años)	<b>6.- euritopicos</b> (amplio rango tolerancia fisiológica)
<b>2.- rápido crecimiento individual</b>	<b>7.- comportamiento gregario</b>
<b>3.- rápida madurez sexual</b> (generalmente dioicos, con pocos casos de hermafroditismo)	<b>8.- asociación de algún tipo con actividades humanas</b> (recurso alimentario, transporte, etc.)
<b>4.- alta fecundidad</b>	<b>9.- amplia variabilidad genética</b>
<b>5.- eurioicos</b> (capacidad de colonizar un gran rango de hábitat)	<b>10.- alimentadores de suspensión</b>

Según cita Matschke (2020) las estadísticas sobre especies no-nativas y especies invasoras permitió establecer la regla del 10 de Williamson, planteada por Elton et al (2007). Esta regla se basa en que las bioinvasiones son un proceso, compuesto por varias etapas (Tabla 3), mediante la cual se mide el éxito del pasaje de una etapa a la siguiente y que, para este autor, ha sido estimada en un promedio del 10%, es decir uno de cada 10 no-nativos logra liberarse en el medio natural, uno de cada 10 de estas especies no-nativas logra establecerse en el nuevo ecosistema y una de cada 10 poblaciones de estas especies, se transforma en invasora. Esta no es una regla matemática y el número de individuos y la frecuencia de introducciones de especies no-nativas, pueden afectar esta proporción de éxito (Simberloff et al., 1997).

Tabla 3. Etapas y barreras que las especies no-nativas deben superar para establecerse y expandir su rango de distribución en las regiones donde son introducidas (modificado de Zhan et al. 2015).



En el período de globalización que el planeta atraviesa, el transporte de mercancías y personas a través de las fronteras internacionales ha provocado una alta presión de propágulos de las especies no-nativas (Darrigran et al. 2020), como lo evidencia el hecho que aproximadamente 3.000 especies de organismos son transportadas por agua de lastre, por día, por todo el mundo (Carlton and Geller, 1993).

Asimismo, el ingreso de especies no-nativas en este período de globalización, se ve favorecido además por otro factor, como es el cambio climático (Figura 2), que provoca impactos a nivel global, que favorece en la competencia entre estas especies no-nativas con las nativas debilitadas por ese impacto sumada a que las



no-nativas, ya que cumplen con algunas o todas de las características señaladas en la Tabla 2.

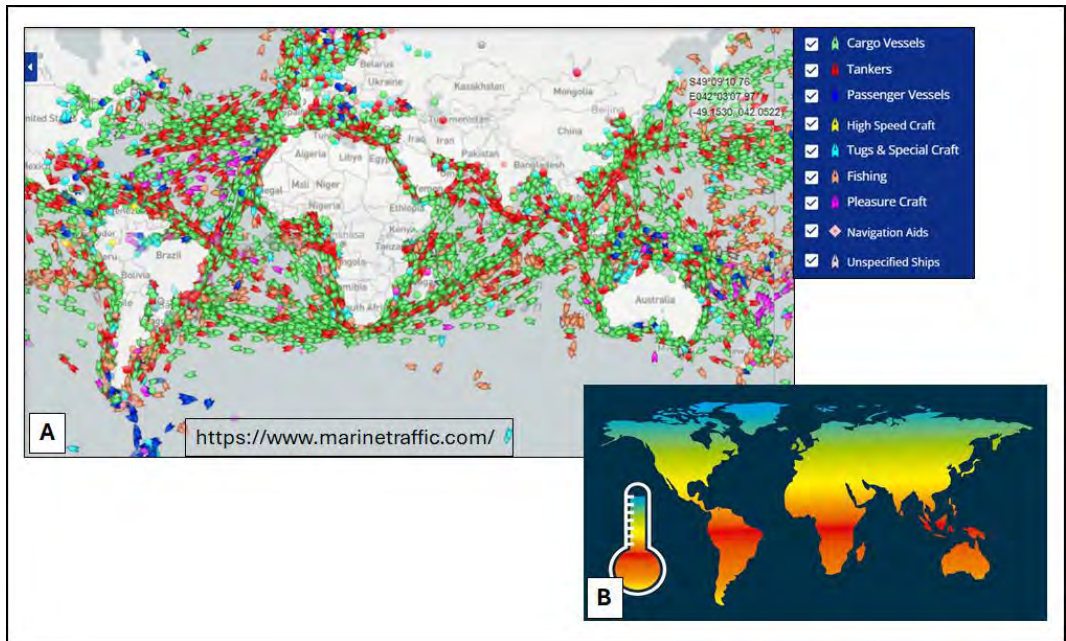


Figura 2. Facilitadores de especies no-nativas. A.- Comercio Global. Servicios de datos de tráfico marítimo (<https://www.marinetraffic.com/>). B.- Cambio Climático. Esquema temperatura global

En este trabajo, especialistas en distintos campos de acción que han realizado exposiciones en la “Sección 4: Bioinvasores: Efectos e impactos en América del Sur”, ejemplifican impactos y efectos que ocasionan algunas de las especies no-nativas/invasoras en este continente. Si bien estos ejemplos son base para la gestión de especies no-nativas e invasoras, que se deberían considerar no solo en el campo de la biología, sino también el social (Castro, *et al.*, 2021; Bortolus and Schwindt, 2022), evidenciando una carencia en este sentido por parte de los funcionarios de turno encargados en la gestión de esta problemática socio/ambiental como son las bioinvasiones.

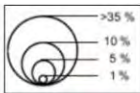
## RESULTADOS

### **“Moluscos Introducidos de América del Sur” (eMIAS)**

Gustavo Darrigran

El eMIAS, es un grupo creado en el 2016, que reúne a 29 investigadores de siete países sudamericanos, para establecer una identidad de base colaborativa que tiene como objetivo generar conocimiento para prevención, control de las especies no-nativas/bioinvasoras de moluscos en América del Sur (<https://emiasgroup.wixsite.com/emias>), y que sirva de base para las instituciones que gestionan este problema ambiental en América del Sur. Los objetivos del eMIAS, se detallan en la Figura 3 A, B, C y D.

Por su parte, hasta el 2023, el eMIAS ha realizado tres trabajos científicos, en revistas internacionales de primer nivel académico: Darrigran, *et al.* (2020); Darrigran, *et al.* (2022); Carranza *et al.* (2023). En los mismos se ha desarrollado temas como, moluscos no-nativos en América del Sur; exploración de los moluscos trasplantados en América del Sur; impactos y efectos de los moluscos no-nativos y trasplantados en América del Sur.



El tamaño de los círculos indica el porcentaje de especies no-nativas según su origen. Los colores indican fecha de introducción en intervalos de 50 años



Objetivos:

Generar un registro de moluscos no-nativos en América del Sur

**Se han reconocido 86 especies de moluscos no-nativos establecidos en América del Sur:**

- 56 especies que pertenecen al medio terrestre, de las cuales cinco se determinaron como criptogénicas, en 109 eco-regiones terrestres
- 16 especies dulceacuícolas, en 52 eco-regiones de agua dulce
- 14 especies presentes en el medio marino, en 28 eco-regiones marinas



Objetivos:

Generar un registro de moluscos no-nativos en América del Sur

Establecer ocurrencias, región nativa, vectores y fecha d introducción

Relacionar la información + estado de conservación de las eco-regiones + grado de urbanización

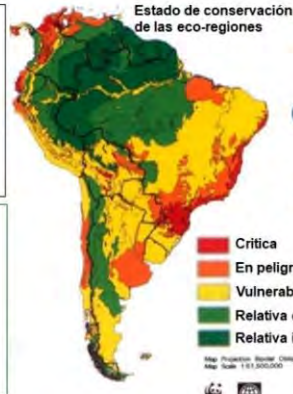
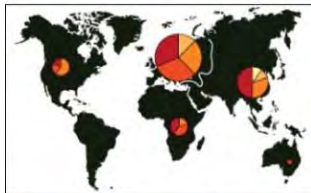




Figura 3. A B, C y D. Objetivos del eMIAS y resultados alcanzados. Datos tomados de Darrigran et al. (2020)

## Poliqueto invasor vs ingeniero ecosistémico

Elias, Rodolfo y Jaubet María Lourdes

Trabajos desarrollados sobre este tema por Rodolfo Elias y María Lourdes Jaubet, fundamentan esta interacción, poliqueto invasor y el ecosistema invadido, en el litoral marino de Buenos Aires.

Es difícil suponer o imaginar que un poliqueto de unos pocos centímetros de longitud pueda competir exitosamente con un bivalvo mitilido en las costas del Atlántico sudoccidental, que actúa como un ingeniero ecosistémico, debido a que tiene la capacidad de regular, directa o indirectamente, la disponibilidad de recursos al cambiar la estructura física, la complejidad y la heterogeneidad del ambiente (Gutiérrez y Jones, 2006).

Las costas de Argentina están dominadas en su sector intermareal de sustrato duro por bivalvos mitilidos. En la Provincia de Buenos Aires *Brachidontes rodriguezii* (d'Orbigny, 1842) forma densas camas, siendo el organismo dominante, albergando muchos organismos asociados sobre y dentro de la matriz multiestratificada de bivalvos.

Originalmente la comunidad fue descrita ocupando todo el sector entre mareas (Olivier *et al.*, 1968), debido a la falta de un cinturón de cirripedios en la parte alta, como suele describirse en la zonación universal de sustratos duros. Ya en la década de 1970 se evidenció el ingreso de cirripedios en el puerto de Mar del Plata, donde cerca de la boca del Puerto se registró una comunidad de *Brachidontes pauperizada* por efectos de la contaminación (Bastida, 1971). Los primeros cirripedios intermareales invasores, *Balanus amphitrite* Darwin, 1854, fueron luego desplazados al submareal por el ingreso y explosión demográfica de otro cirripedio, oriundo del Océano Pacífico norte, *B. glandula* (Vallarino y Elías, 1997). Rápidamente este organismo se dispersó fuera del puerto y compitió por el espacio con *Brachidontes rodriguezii*, desplazándolo de los sectores más altos del intermareal, constituyendo finalmente el cinturón de cirripedios que caracteriza, ahora sí, a todos los intermareales de sustrato duro (Llanos *et al.*, 2019). Esta fue la primera invasión de organismos invasores en el intermareal de sustrato duro del área de Mar del Plata registrados.

La comunidad epilítica intermareal fue también estudiada como indicador del impacto ambiental debido a las descargas cloacales. Inicialmente en la localidad de Necochea-Quequén (López Gappa 1990; 1993), y luego en Mar del Plata (Vallarino, 2002; Vallarino et al., 2002).

La zona de descarga del efluente de las aguas servidas de Mar del Plata se ubicaba a 9 km al norte de la ciudad sobre el intermareal, y fue regularmente estudiada para evaluar el grado de deterioro a través del estudio de la comunidad intermareal. En 2008, al poco tiempo de comenzar las obras de defensa costera de lo que sería el emisario submarino de aguas servidas de la ciudad, se detectó una masiva formación de arena que cubría gran parte del sector intermareal (Figura 4). En realidad, se trataba de una masiva formación de tubos de poliquetos, en tal densidad que se podía caminar sobre ellos. En ese momento la densidad registrada llegó a 650.000 ind.m<sup>2</sup> (Jaubet et al., 2011). Por sus características, a estas estructuras se las denominó arrecifes, ya que constituían una formación que sobresalía del sustrato, alterando la dinámica del agua y de los sedimentos. Una especie formadora de arrecifes debe crear una estructura que consista en la acumulación de individuos que se eleven, usualmente, del fondo del mar y formen un hábitat discreto y sustancial, diferente al circundante. Esta estructura podría estar formada enteramente por los organismos y sus tubos o valvas, o bien podría formarse por sedimentos, piedras y conchillas unidas por secreciones que producen los mismos organismos (Holt et al., 1998).



Figura 4. Fotografía del sitio de muestreo 1.000 m al sur del efluente de aguas servidas de la ciudad de Mar del Plata cubierto con el arrecife del poliqueto invasor *Boccardia proboscidea*. Arriba a la izquierda se observa parte de la escollera, obra de defensa del futuro emisario submarino de la ciudad. Foto tomada de Jaubet *et al.*, 2011.

Tal fue el impacto visual, que el laboratorio de Bioindicadores Bentónicos (UNMdP – IIMyC) comenzó un estudio conducente a una tesis doctoral: “*Boccardia proboscidea* Hartman, 1940, un poliqueto invasor en el Atlántico Sudoccidental y su efecto sobre la comunidad bentónica intermareal”. Ese trabajo permitió entender el proceso de sucesión en sitios impactados por la descarga de aguas servidas de la ciudad de Mar del Plata y sitio de referencia, no contaminados (Figura 5), y determinar la interacción entre el poliqueto invasor y el ingeniero ecosistémico.

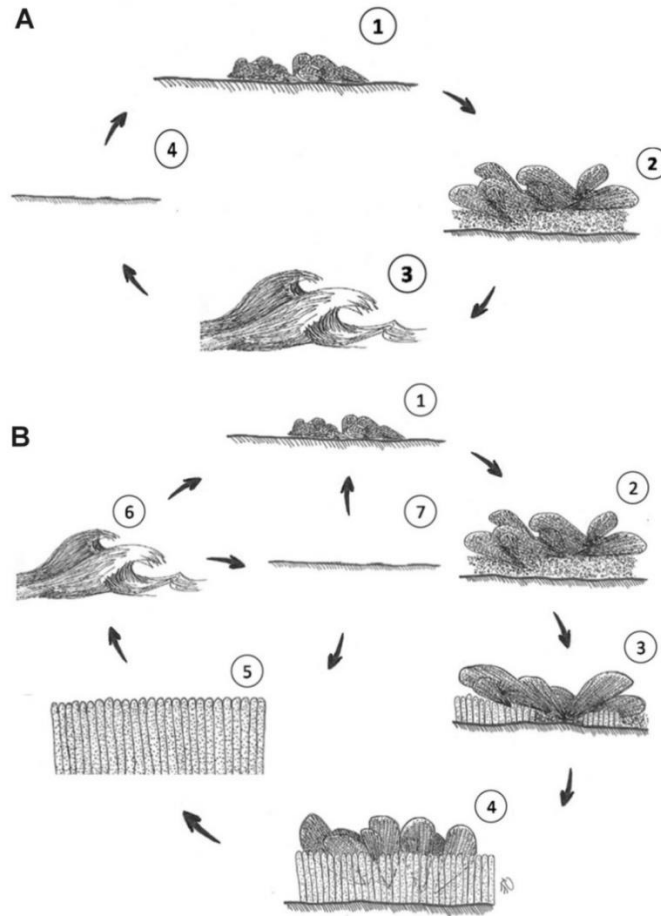


Figura 5. A: Proceso de sucesión de la comunidad epilítica de *Brachidontes rodriguezii* en sitios no impactados. 1) Etapa inicial, con el sustrato cubierto por una incipiente comunidad, caracterizada por pequeños bivalvos, 2) Comunidad multiestratos, con bivalvos de varias generaciones y gran acumulación de sedimento intersticial, entre los bivalvos y entre los bivalvos y el sustrato, 3) tormenta (disturbio ambiental), 4) sustrato desnudo. B: Proceso sucesional de la comunidad epilítica de *Brachidontes rodriguezii* en sitios impactados por descargas de aguas servidas. 1) etapa inicial, con el sustrato cubierto por una incipiente comunidad, caracterizada por pequeños bivalvos, 2) Comunidad multiestratos, con bivalvos de varias generaciones y gran acumulación de sedimento intersticial, entre los bivalvos y entre los bivalvos y el sustrato, 3) larvas y juveniles de *Boccardia proboscidea* se asientan y construyen sus tubos entre los bivalvos, 4) Desarrollo masivo de la población del poliqueto *B. proboscidea* entre los bivalvos; debido a esto, los bivalvos toman una posición vertical tratando de evitar ser sofocados, 5) Formación de arrecifes con exclusión de bivalvos, 6) Tormenta (disturbio ambiental), 7) Sustrato desnudo (Figura modificada de Jaubert, 2013).



El éxito de la colonización, expansión e invasión de esta especie podría deberse a que su reproducción incluye protección de la puesta dentro del tubo, presencia de huevos “nurse” (huevos nutricios) y una reproducción continua con poecilogonía, es decir, con producción de formas larvales planctónicas y juveniles bentónicos (desarrollo directo). Esta estrategia reproductiva explicaría el posible mecanismo que, junto con el aporte continuo de materia orgánica, propició el desarrollo de los arrecifes (Jaubet et al., 2015).

Otros estudios complementarios (Elias et al. 2015; Llanos et al., 2021) mostraron que las diferencias Antes/Después de la invasión del poliqueto están dadas principalmente por la presencia y ausencia de dos especies, el bivalvo *Brachidontes rodriguezii* y el poliqueto *Boccardia proboscidea*. El ingeniero ecosistémico *B. rodriguezii* fue responsable de más del 50% de la diferencia debido a su significativa disminución. También contribuyeron a las diferencias Antes/Después *B. proboscidea* (el invasor) y la desaparición de las otras especies de *Boccardia* spp. Otro cambio significativo está dado por la composición de la comunidad epilitica. En el trabajo de Vallarino (2002) se mencionaron 43 especies acompañantes, pero el 98 % de los individuos pertenecían a sólo 13 especies, sin embargo, en el estudio posterior a la invasión del poliqueto sólo 6 especies fueron responsables del 98 % de los individuos.

*Boccardia proboscidea*, considerado una “peste” en Australia, también se distribuyó a lo largo de la costa de Argentina. Un estudio de monitoreo espacial confirmó que *B. proboscidea* se encuentra en latitudes de 37°S a 47°S (desde Mar de Cobo hasta Puerto Deseado). Como se mencionó anteriormente, la naturaleza oportunista (estrategia r) de *B. proboscidea* sumada a un suministro continuo de materia orgánica puede indicar el mecanismo que ha llevado al éxito de su introducción en nuevas localidades. La mayor abundancia de esta especie se encontró en sitios con sustrato duro y con descarga de efluentes de aguas residuales intermareales como Quequén y Comodoro Rivadavia, desplazando a los bivalvos ingenieros ecosistémicos (Jaubet et al., 2018) (Figura 6).

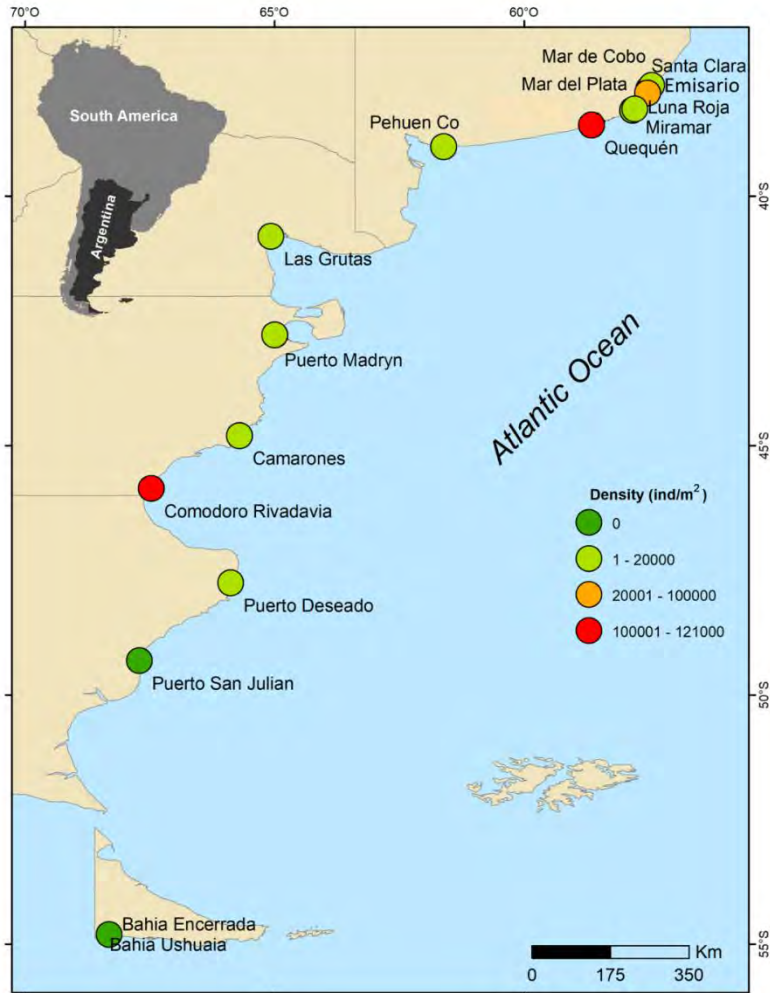


Figura 6. Mapa de la costa argentina mostrando la distribución y abundancia del poliqueto invasor, *Boccardia proboscidea*. Modificado de Jaubet et al. 2018.

En resumen, un poliqueto invasor pudo desplazar competitivamente a un ingeniero ecosistémico (*B. rodriguezii*) y al mismo tiempo definirse como un auto-ingeniero ecosistémico, ya que genera un hábitat tridimensional que sólo él habita, desplazando a todas las especies presentes en el área (Eliás et al., 2015). Estas bio-construcciones brindaron hábitat para unos pocos invertebrados infaunales bentónicos, sólo unos pocos poliquetos pertenecientes a las familias

Nereididae (*Alitta succinea* (Leuckart, 1847) y Syllidae (*Syllis prolixa* Ehlers, 1901, *Syllis* cf. *gracilis* Grube, 1840) fueron encontrados en muy baja densidad. Algunos crustáceos como anfípodos *Monocorophium insidiosum* (Crawford, 1937) también aparecieron como habitantes ocasionales de los arrecifes (Jaubet, 2013; Sánchez, 2014).

El éxito de *Boccardia proboscidea* se basa en su estrategia reproductiva (presencia de dos tipos de reproducción simultánea, producción de larvas planctónicas y juveniles bentónicos de desarrollo directo) y en su altísima tasa de crecimiento. Sin embargo, el desplazamiento del ingeniero ecosistémico por parte del poliqueto invasor tiene que estar mediado por un efecto significativo sobre la comunidad dado por descargas cloacales.

Este fenómeno de desplazamiento fue episódico, y al desaparecer la fuente directa de alimentación (la descarga cloacal) el ecosistema se restablece en un nuevo equilibrio (Llanos et al., 2021; Jaubet et al., 2024).

## DECÁPODOS NO-NATIVOS EN AMÉRICA DEL SUR:

### Evaluación de Riesgos e Impactos Potenciales

Lucas Rieger de Oliveira, Ximena Maria Constanza Ovando, Simone Jaqueline Cardoso

A través de una investigación en conjunto, Ximena Ovando expone una síntesis sobre las especies no-nativas de crustáceos decápodos en América del Sur.

La introducción de especies invasoras tiene impactos negativos sobre los ecosistemas y la fauna local (Oliveira et al., 2023). Los datos actuales sugieren que la introducción de especies exóticas es la segunda causa que amenaza de extinción a la biodiversidad (Vitousek et al., 1996; Strayer, 2010). En los hábitats de agua dulce, el rápido desarrollo de la acuicultura mundial, basado en especies invasoras, ha sido el principal responsable de un aumento significativo de las introducciones masivas de especies exóticas en los últimos años (Welcomme, 1988). Las razones para que especies de plantas y animales se encuentren fuera de su ámbito de distribución natural son diversas; sin embargo, la mayor parte de los movimientos de ejemplares de especies hacia nuevas regiones se ha hecho

considerando únicamente los beneficios para las poblaciones humanas, sin considerar los posibles efectos ecológicos adversos (Segura, 2005).

La biodiversidad acuática de las aguas continentales útil para los humanos incluye plantas, peces, anfibios, reptiles, moluscos, crustáceos e incluso insectos. Las comunidades acuáticas a lo largo del mundo están siendo alteradas por la introducción de peces y otras especies exóticas, con la intención de incrementar la pesca comercial y deportiva. La introducción de estas especies puede causar graves daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, provocar desequilibrios ecológicos entre las poblaciones silvestres, generar cambios en la composición de especies y en la estructura trófica (Strayer, 2010). Así mismo, puede inducir el desplazamiento de especies nativas, pérdida de especies, reducción de la diversidad genética y transmisión de una gran variedad de enfermedades como plagas agrícolas y forestales.

La FAO (2022) mantiene un registro de especies exóticas en el que se refleja que más de 379 especies han atravesado fronteras internacionales y que estos cambios han proporcionado algunos beneficios, pero también han causado grandes impactos en las especies nativas de las áreas donde fueron trasladadas. Varios estudios con macro y microcrustáceos han demostrado que el potencial invasor de estas especies ha aumentado debido a una asociación de factores que involucran interferencia antropogénica y cambio climático. (Capinha et al., 2011; Bellard et al., 2013; Mantovano et al., 2021). Entre los crustáceos, los decápodos llaman la atención por su diverso uso, especialmente culinario (Susanto, 2021). Existe un alto interés económico en invertir en criaderos de crustáceos en países en desarrollo como Brasil y otros países de América del Sur, lo que es una advertencia para la introducción de estas especies en ambientes fuera de su distribución natural.

Entre las especies no nativas ampliamente distribuidas, sus impactos en la comunidad de especies nativas son bien conocidos. Entre estas se encuentran, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) nativo de la región centro-sur de los Estados Unidos y Nordeste de México (Loureiro et al., 2015) y *Macrobrachium rosenbergii* Man, 1879, nativo de las regiones tropicales y subtropicales del Indo-Pacífico, con registros confirmados en varios países del sur y sudeste asiático. *Procambarus clarkii*

es considerada una de las especies de crustáceos más invasoras del mundo, y su introducción fuera de su entorno natural ha sido principalmente para fines comerciales en la acuicultura o como mascota. Las especies *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) endémico de América del Sur y *M. amazonicum* (Heller, 1872) nativa de la Cuenca del río Amazonas, fueron trasplantadas para servir como alimento para algunas especies de peces previamente introducidas en tanques y embalses de cultivo en diferentes países de América del Sur, mientras que el trasplante de *Dilocarcinus pagei* Stimpson, 1861 en otras regiones de América del Sur es tal vez accidental, a través del transporte de peces y macrófitos. Este movimiento, poco estudiado, de especies hacia nuevas áreas dentro de la misma región biogeográfica se conoce como “trasplante” (Darrigran et al., 2022).

En los últimos años se ha generalizado una nueva herramienta que permite analizar objetivamente los patrones espaciales de presencia de organismos: los modelos de distribución de especies basados en cálculos estadísticos y usando datos cartográficos de presencia (latitud y longitud) permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales. Los datos de colecciones de historia natural pueden ser utilizados para este fin adquiriendo así una nueva utilidad. Los modelos han evolucionado desde su aplicación a especies aisladas hasta análisis de cientos o miles de taxones para combinarlos en el análisis de la biodiversidad y riqueza específica. Los objetivos de este estudio fueron (i) modelar los nichos ecológicos de tres especies de trasplante de decápodos de agua dulce en América del Sur: *D. pagei*, *M. amazonicum*, *M. jelskii* y dos especies no nativas *M. rosenbergii* y *P. clarkii*; y (ii) determinar el alcance de áreas de hábitat adecuadas para la presencia de esas especies en América del Sur.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de datos

La revisión sistemática de la literatura incluyó el uso de cuatro bases de datos de artículos en las bases de datos: Web of Science, Scopus, Scielo e Aquatic Science and Fisheries Abstract (ASFA). Se eligió la base de artículos de ASFA para esta sección precisamente porque es un nicho de publicaciones centradas en la

ecología acuática y el trabajo con especies de agua dulce. En este sentido, todos los artículos revisados por pares, publicados en cualquier idioma, desde el año 1945 hasta el 29 de enero de 2021. Fueron usadas las siguientes palabras claves: "(*Procambarus* OR *Macrobrachium* OR *Dilocarcinus*) AND (stuar\* OR wetland\* OR mangrove\* OR freshwater OR "aquatic environment" OR "aquatic ecosystem\*" OR lake\* OR river\* OR pond\* OR reservoir\* OR "drainage basin\*" OR lagoon\* OR "river basin\*" OR stream\* OR waterfall\* OR watercourse\* OR brook\* OR creek\*)".

De los datos resultantes sobre la presencia de las especies consideradas fueron incluidos aquellos con publicaciones que contenían registro de especímenes con coordenadas geográficas. Las publicaciones que no tenían coordenadas geográficas, pero que describían la ubicación o localidad, fueron separados y posteriormente georreferenciadas mediante *Google Earth*. También fueron usados registros de ocurrencia de cada especie depositados en la base de datos del Fondo Mundial de Información sobre Biodiversidad (GBIF, 2022).

### Modelado de nicho y selección de variables

Fueron utilizadas variables específicas para ambientes de agua dulce (EarthEnv) con una resolución de 30 segundos (aproximadamente 1 km) y variables bioclimáticas de Worldclim con una resolución de 2.5 arco minutos (5 km). Todas las variables fueron estandarizadas a una resolución de 5km usando el paquete "raster" (Hijmans, 2022) en R, (versión 4.1.2) (R Core Team, 2022). Para el recorte de las variables para América del Sur fueron utilizados los paquetes "tidyverse" (Wickham, 2018) y "rnaturalearth" (South, 2017) dentro del programa R.

La multicolinealidad entre variables se verificó utilizando el Factor de Inflación de Varianza (VIF) en el paquete "USDMM" (Naimi et al., 2014) del programa R. Como el VIF es capaz de determinar la fuerza de la correlación entre variables ambientales, aquellas altamente correlacionadas, fueron excluidos del modelado de nicho, con el umbral de corte predeterminado igual a 10 para evitar la colinealidad en los modelos estadísticos (Naimi et al., 2014). Todas las especies fueron modeladas en su respectiva región nativa y fueron diseñadas para el área de interés, es decir, realizar modelamiento de nicho de *P. clarkii*, inicialmente el modelo se realizó para Norteamérica y se diseñó para Sudamérica. Asimismo, el

modelo de *M. rosenbergii* primero se realizó para el continente asiático y luego se proyectó para Sudamérica.

Los métodos de evaluación del modelo utilizados para el trabajo fueron el AUC (área bajo la curva) de la curva ROC (característica operativa del receptor) y la estadística de habilidad verdadera (TSS). Los valores de AUC oscilan entre 0 y 1, considerándose valores de 0,9-1 excelentes y de 0,8-0,9 buenos. TSS es un método dependiente del umbral y sus valores pueden variar entre -1 y +1, considerándose malos valores positivos que van de 0,2 a 0,5, útiles de 0,6 a 0,8 y valores superiores a 0,8 considerados excelentes (Coetzee *et al.*, 2009, Peterson y Soberón, 2012).

### Resultados

La revisión sistemática de la literatura, siguiendo los términos de búsqueda y criterios de inclusión, resultó en 10.850 artículos extraídos de las cuatro bases de datos. Después de eliminar todos los registros duplicados, quedaron 9597 únicos que se exportaron a una tabla Excel. Después de examinar todos los artículos, se excluyeron 8592 artículos porque no cumplían con los criterios de inclusión y 1005 artículos contenían la ubicación de la especie. Se obtuvo un total de 1384 registros únicos con coordenadas, de los cuales, 42 coordenadas correspondieron a *D. pagei*, 213 a *M. amazonicum*, 116 a *M. jelskii*, 105 a *M. rosenbergii* y 908 para *P. clarkii* (Figura 7). Las variables bioclimáticas, hidrológicas, topográficas, caudales, precipitaciones seleccionadas por el VIF para realizar la EMN de cada especie. prec11 (suma de precipitaciones mensuales del mes de noviembre). Las otras variables presentes en al menos cuatro de las cinco especies fueron: min\_elev (elevación mínima), BIO18 (precipitación del trimestre más caluroso), hidro2 (variable hidrológica de variación media diaria).

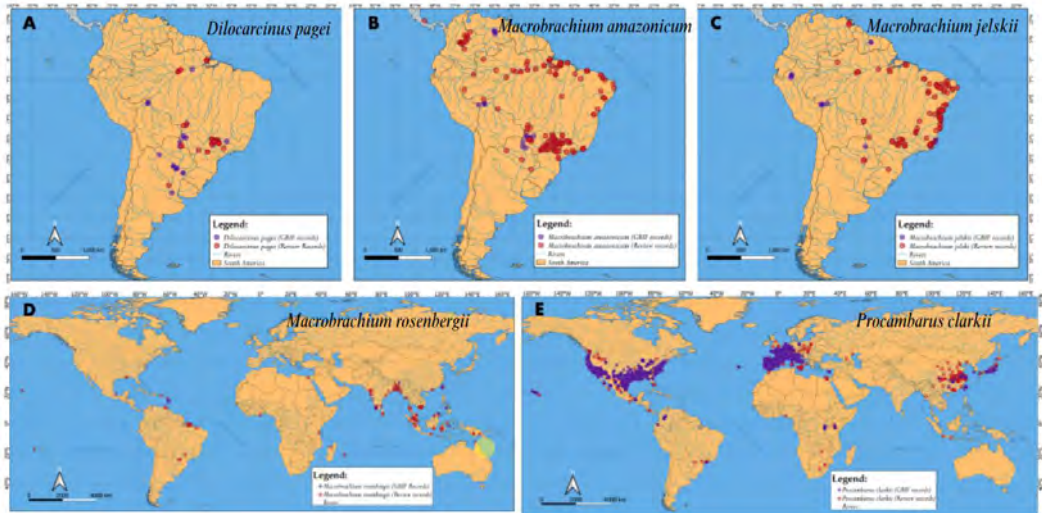


Figura 7. Distribución de las especies de Decapoda en América del Sur (A, B, C). Distribución nativa de las especies *M. rosenbergii* y *P. clarkii* (D, E). Modificado de Oliveira et al. (2023)

Todos los modelos generados por MaxEnt tuvieron un buen desempeño en base a los valores de AUC y TSS, con valores superiores a 0,9 y 0,7 respectivamente, a excepción de *Dilocarcinus pagei* que presentó un valor de AUC de 0,84. Las áreas de mayor idoneidad se encuentran en la Cuenca del Plata, en territorio brasileño y la porción media de la cuenca Uruguay-Brasil y la cuenca del río Amazonas (Figura 8). En *M. jelskii* el área de idoneidad (Figura 8C) mostró sus áreas de mayor idoneidad cerca de la costa brasileña que corresponde a las cuencas fluviales del Este de Brasil, la Costa Atlántica Sur y Uruguay-Brasil, la costa del Atlántico Sur. Finalmente, los modelos de nicho para *M. rosenbergii* (Figura 2D) y *P. clarkii* (Figura 8E) mostraron un desempeño excelente con las áreas más grandes de idoneidad entre todas las especies. Las zonas de mayor idoneidad se encuentran principalmente en el sur de América del Sur (cuenca del Río de la Plata). Más de 1,9 millones de km<sup>2</sup> de territorio sudamericano han presentado una idoneidad mayor a 0,75 para *P. clarkii*, mientras que 953.640 Km<sup>2</sup> de territorio sudamericano es adecuado para *M. rosenbergii*.



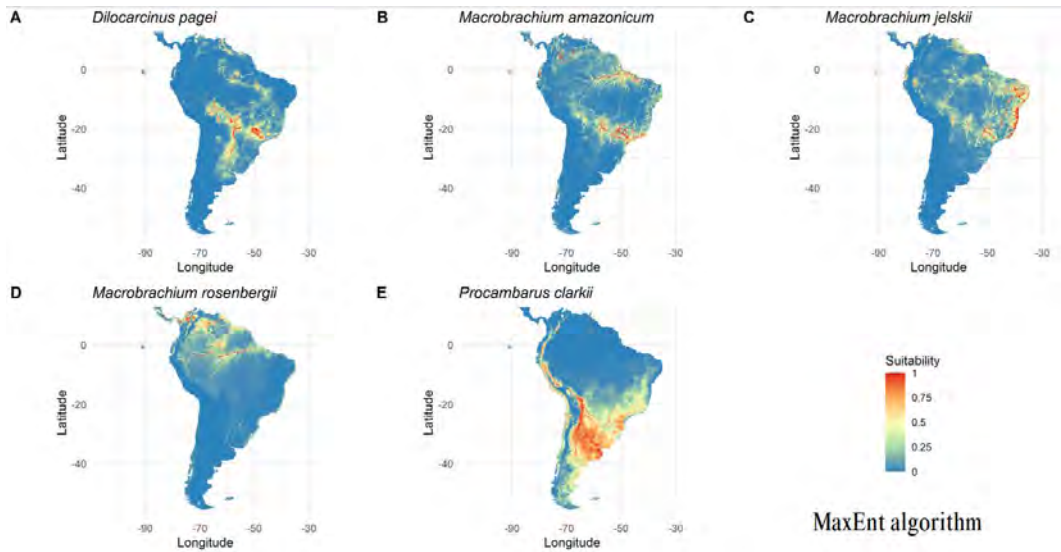


Figura 8. Distribución de la distribución potencial de las especies de Decapoda mostrando las áreas de idoneidad en América del Sur, *D. pagei* (A), *M. amazonicum* (B), *M. jelskii* (C), *M. rosenbergii* y *P. clarkii* (D, E respectivamente). Modificado de Oliveira et al. (2023)

## DISCUSIÓN

Las especies que mostraron mayor área de idoneidad fueron *P. clarkii* y *M. rosenbergii*, siendo ~11% y 6%, respectivamente del territorio total de América del Sur potencialmente susceptible a una invasión de estas especies. El potencial de invasión de *M. amazonicum* que, además de tener una alta adecuabilidad, es la más comercializada, hace que esta especie necesite en forma urgente estrategias de manejo (Kutty et al., 2000). El área se superpone con varias cuencas fluviales de la Región Sudeste de Brasil y áreas cercanas al Pantanal de Mato Grosso, que también incluye regiones de Paraguay y Argentina, además de varias áreas de protección ambiental. *Procambarus clarkii*, es considerada una de las especies de crustáceos más invasoras del mundo y ha logrado escapar de todos los sistemas de cultivo en los que se ha cultivado hasta la fecha (Barros et al., 2012). Las áreas de mayor idoneidad para *M. rosenbergii* corresponden a gran parte de la Selva Amazónica y casi toda la cuenca del río Amazonas, que incluye desde la cuenca del río Japurá hasta la cuenca del río Branco y zonas costeras de

Venezuela, debajo de la isla desde Trinidad hasta la desembocadura del río Oiapoque. La contribución de las variables de precipitación a la construcción del modelo fue significativa para todas las especies, ya que se alinea con el ciclo reproductivo y ambientes favorables para desarrollo larvario. La temporada de lluvias, particularmente de noviembre a marzo, está correlacionada con el pico reproductivo para algunas especies como *M. jelskii*. Estudios con *M. amazonicum* y otras especies de *Macrobrachium* refuerzan que esta fluctuación de temperatura puede influir directamente en el número de individuos de la población (Collart y Moreira, 1993).

## CONCLUSIONES

Nuestros resultados demostraron que la Región Sudeste de Brasil y el Pantanal son particularmente vulnerable a la invasión de especies de decápodos de agua dulce. Además, nuestro estudio subraya la importancia de la conservación y preservación de los hábitats vulnerables, particularmente aquellos ubicados dentro de Reservas Biológicas y Áreas Protegidas, para prevenir colonización por especies invasoras. Sin embargo, creemos que nuestros hallazgos brindan información para los gestores ambientales a fin de proteger la biodiversidad acuática y terrestre y fundamentar el desarrollo de la conservación y medidas de gestión para mitigar los riesgos de invasión y promover el desarrollo sostenible.

## Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del trabajo de disertación de Maestría de Lucas Rieger de Oliveira y formó y es un parte de la publicación en la revista Diversity 15, 841. <https://doi.org/10.3390/d15070841>.

## Invasiones biológicas y sus impactos en la acuicultura

Carlos Belz

Las especies invasoras tienen un gran potencial para causar impactos donde se introducen, ya sea ambiental, social o económico. Varias características como un ciclo de vida corto, alta fecundidad y adaptabilidad ambiental hacen que algunas especies tengan un mayor potencial invasor. Los moluscos son un grupo

animal que presenta varias especies con estas características, lo que los convierte en potencialmente invasivos, con varios ejemplos de introducción y generación de impactos en todo el mundo (Belz, 2006) (IBAMA, 2017). El Grupo eMias (Especialistas en Moluscos Introducidos de América del Sur - <https://emiasgroup.wixsite.com/emias>) publicó un artículo con un inventario de moluscos invasores de América del Sur (Darrigran *et al.*, 2020). En este relevamiento es posible identificar especies de moluscos que fueron introducidas voluntariamente al continente para ser producidas comercialmente, como *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), que terminó volviéndose invasora en Argentina, compitiendo con las especies nativas y provocando impactos ambientales irreversibles.

Hasta los años 90 la preocupación por los impactos generados por especies invasoras era incipiente. Era un tema poco discutido, difundido y no tomado en consideración al momento de introducir una nueva especie para producción. Sólo se tuvieron en cuenta características como un crecimiento rápido, una buena conversión alimenticia y un buen rendimiento de carne, además de cuestiones sanitarias relacionadas con otras producciones animales. Así, muchas especies se introdujeron por todo el mundo y se convirtieron en problemas irresolubles. Hasta el punto de que hoy la introducción de especies invasoras es considerada una de las mayores causas de reducción y extinción de la biodiversidad a nivel global (Tsirintanis *et al.*, 2022).

Afortunadamente, hoy en día el debate sobre las especies invasoras está muy extendido. Este hecho provocó que el sector público y el sector productivo vean con más cautela las introducciones de especies. Un ejemplo es el gobierno brasileño, que está creando un modelo de análisis de riesgo de bioinvasión para respaldar las autorizaciones de importación de especies. Como resultado, el número de introducciones voluntarias disminuyó, pero las introducciones involuntarias tuvieron un gran aumento (Tsirintanis *et al.*, 2022). La globalización y la intensificación del comercio internacional son algunos de los factores que explican este aumento. Uno de los mayores vectores de introducción involuntaria de especies en el planeta hoy en día es el agua de lastre de los barcos, que mueve miles de especies de un lado al otro del globo, provocando en forma inadvertida muchas introducciones (Anil *et al.*, 2002). Otros ejemplos de introducciones involuntarias son la bioincrustación, cuando las especies se

mueven adheridas a otros sustratos naturales o artificiales, y el comercio global, puede introducir animales, plantas o patógenos, junto con otras especies comercializadas voluntariamente.

La acuicultura es una actividad que requiere un medio ambiente sano y equilibrado y los acuicultores se han dado cuenta cada vez más de la importancia de preservar el medio ambiente donde trabajan y se ganan la vida (Boyd et al., 2020). Las especies invasoras provocan un desequilibrio ambiental importante, desplazando especies, interfiriendo profundamente en toda la cadena trófica y provocando una reducción de la biodiversidad, pudiendo incluso extinguir especies cultivadas. Así muchas especies invasoras causan impactos en las actividades acuícolas. Tanto los impactos ambientales como los impactos económicos y sociales (Forneck et al., 2016). Un gran ejemplo de esto es el mejillón dorado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). Esta especie de molusco bivalvo de la familia Mytilidae, vulgarmente conocida como mejillón dorado, fue introducida en Sudamérica a principios de los años 90 a través del agua de lastre procedente de barcos provenientes del sudeste asiático. Desde entonces, la especie se ha dispersado por varias cuencas fluviales de Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil, provocando importantes impactos ambientales y efectos económicos (Darrigran et al., 2003). Cambia la dinámica del fitoplancton, que es su alimento y al mismo tiempo la base de toda la cadena trófica limnica.

Además, se adhiere a cualquier sustrato presente en el agua (otros animales, plantas y cualquier sustrato artificial), incluidos las redes de los tanques para piscicultura, las cuales quedan completamente obstruidas, provocando una reducción de su vida útil, menor circulación del agua dentro de las estructuras, lo que conduce a la reducción del crecimiento de los peces y en muchos casos, incluso a la pérdida definitiva de estructuras (Figura 9). Además, los mejillones dorados también bloquean las tuberías de captación de agua y pueden ser un problema en cultivos en estanques excavados que dependen del suministro de agua (Belz, 2006).



Figura 9. Tanques de red incrustados con mejillones dorados. (Foto: Daercy Rezende Ayroza)

Otra especie de molusco que puede causar problemas a las piscifactorías es el bivalvo *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819). Molusco originario de Brasil, pero trasladadas en otras cuencas fluviales (Carranza et al. 2023). En condiciones de piscicultura en estanques, esta especie puede proliferar significativamente (Felipi & Silva-Souza, 2008). Vive enterrada en el sustrato, pero sus larvas pasan un período de su vida como parásitos de las branquias de los peces, lo que en grandes cantidades puede provocar pérdidas económicas al comprometer el crecimiento y la salud de los peces (Figura 10).

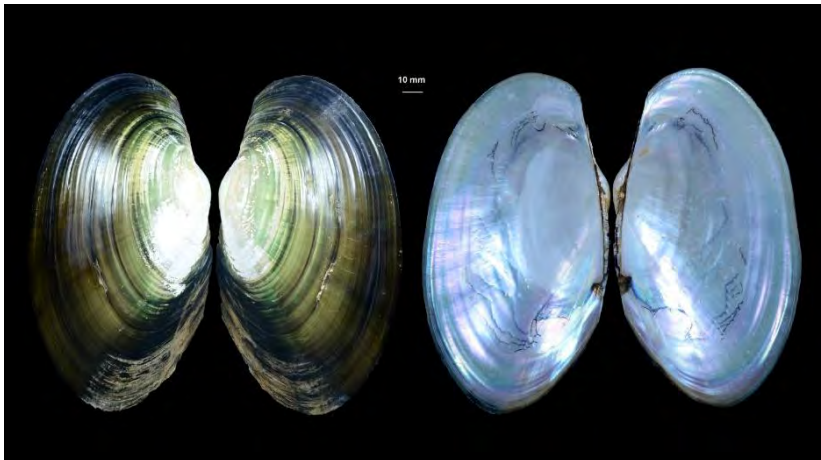


Figura 10 . *Anodontites trapesialis* (Foto: Carlos Belz)

Además de estas especies, otros invasores como el bivalvo *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) y gasterópodos límnicos como *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) y terrestres como *Bulimulus bonariensis* (Rafinesque, 1833) y *Macrochlamys indica* Godwin-Austen, 1883 pueden obstruir las tuberías de captación y distribución de agua, además de alterar las características limnológicas de los cuerpos de agua (Rabelo et al., 2022).

En la acuicultura marina, varias especies de moluscos también han comprometido la actividad, como la ostra invasora *Saccostrea cucullata* (Born, 1778), que se ha ido dispersando a lo largo de la costa brasileña, compitiendo por espacio y alimento con especies nativas (Amaral et al., 2020). Además, varios mitilidos invasores, como *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, se encuentran cada vez más en cultivos tradicionales y están causando preocupación entre los criadores de mariscos en el sur de Brasil, el mayor productor de moluscos del país (Silveira Jr. & Couto, 2023). Otra especie que llegó recientemente a Brasil es el mejillón verde asiático *Perna viridis* (Linnaeus, 1758), que fue registrado por primera vez en 2018 en Río de Janeiro y desde entonces ha aumentado su distribución a lo largo de la costa brasileña (Messano et al., 2019). En Venezuela, esta especie fue responsable de importantes impactos sobre las especies nativas de mitilidos (Prieto et al., 2009), que probablemente también ocurrirán en Brasil. Si bien la especie también tiene potencial de cultivo, el impacto sobre las especies nativas desequilibra el medio ambiente y compromete la acuicultura.

Un problema importante para la acuicultura marina es también la introducción del gasterópodo invasor *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). Este molusco, originario de Asia, es considerado invasor en varios continentes y fue identificado en 2011 en la costa de Río Grande do Sul, Brasil (Spotorno-Oliveira et al., 2020). Es una especie carnívora, que se alimenta de otros moluscos y encuentra en los entornos de cultivo de moluscos un lugar adecuado para alimentarse y aumentar su población, generando grandes pérdidas.

Este texto se centra en los problemas causados por los moluscos invasores, pero varias otras especies, de otros taxones, también pueden causar problemas importantes, como los peces invasores, varios otros taxones de invertebrados, como así también varias especies vegetales. Por tanto, monitorear, cuantificar y

valorar estos impactos son acciones de suma importancia para incentivar la adopción de medidas preventivas más efectivas.

Un paso importante para prevenir nuevas introducciones es la correcta gestión de las vías y vectores de introducción. Uno de los mayores problemas es el agua de lastre de los barcos, que durante muchos años parecía un problema irresoluble. La OMI (Organización Marítima Internacional) propuso un Convenio sobre Gestión del Agua de Lastre, que para 2021 ya contaba con 86 países como firmantes, el 91,12% de la flota mercante mundial. El Convenio propone que para 2024 todos los buques deben tener un sistema de tratamiento de agua de lastre aprobado (Outinen *et al.*, 2021). Sin embargo, todavía no hay indicios de que se alcance este objetivo.

¿Qué pasa con el sector de la acuicultura? ¿Qué hacer? Para que el sector sufra menos los efectos de las bioinvasiones, debe continuar el proceso de comprender que una especie con buenas características zootécnicas no siempre es la mejor especie para el cultivo. También hay que tener en cuenta las cuestiones ambientales. Es de esperar que el sector acuícola comprenda cada vez más que un medio ambiente sano y preservado es el punto de partida para el éxito de la actividad. Es importante que todos los participantes de la actividad adquieran conocimientos sobre bioinvasiones, y es de suma importancia que el tema sea abordado en cursos de capacitación en el área de acuicultura. También es importante que el sector participe en investigaciones para valorar las especies nativas, además de contribuir con acciones de control y monitoreo de especies no-nativas e invasoras.

El rol de la educación y su incidencia en la prevención de la introducción de especies no nativas y las invasiones biológicas

Alfredo Vilches

Las especies exóticas o no nativas son aquellas que se encuentran fuera de su área de distribución natural. Algunas de estas especies pueden convertirse en invasoras representando una amenaza significativa para la conservación de la biodiversidad y, además, tienen un impacto negativo en las especies nativas, así como en los servicios ecosistémicos (Fasola y Roesler, 2016; Torres y González-Pisani, 2016); también afectan aspectos económicos y sociales (InBiAr, 2020).

Estudios recientes indican que las especies exóticas invasoras (EEI) se encuentran entre las cinco causas principales del cambio global durante los últimos 50 años (IPBES, 2023).

Para abordar este problema, la educación acerca de las especies exóticas es esencial para el manejo y control de las invasiones biológicas, y se considera un componente fundamental de los saberes que debe poseer un ciudadano científicamente alfabetizado (Campos et al., 2023).

Diversas organizaciones y acuerdos internacionales, como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y el Programa Mundial sobre Especies Invasoras (GISP), destacan la importancia de la educación ambiental como un instrumento esencial en la lucha contra las especies exóticas invasoras (EEI) (Capdevila Argüelles et al., 2006; Vilches et al., 2010). Estas instituciones reconocen que la educación es fundamental para informar a los estudiantes sobre las causas, problemas y posibles soluciones para mitigar los riesgos asociados con las invasiones biológicas. En el artículo 13 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992), se insta a las partes contratantes a implementar acciones de educación y sensibilización pública.

Para hacer frente a la problemática de las especies exóticas invasoras, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) de la Nación Argentina, a partir del año 2016 ha puesto en marcha el proyecto denominado Fortalecimiento de la gobernanza para la protección de la biodiversidad, mediante la formulación e implementación de la Estrategia Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras (ENEEI). Este proyecto cuenta con la Estrategia de Comunicación y Concientización Pública como pilar fundamental para avanzar en el manejo de las invasiones biológicas (IB), para contribuir a una mejor protección de la biodiversidad ante la amenaza de estas especies (ECCP, 2017).

En el documento de la ECCP (2017) se señala que la educación tiene un rol fundamental en la transformación a largo plazo de las percepciones y en la promoción de la conciencia sobre las Especies Exóticas Invasoras (EEI) y sus impactos. Es una estrategia clave para lograr un cambio en la percepción social respecto a este problema. Además, se enfatiza sobre la importancia de fomentar



el desarrollo de capacidades a través de la educación tanto formal como informal, ya que esto contribuye a asegurar que el conocimiento sobre las EEI perdure a lo largo de las generaciones, permitiendo que comprendan, valoren y actúen adecuadamente frente a este desafío.

Ante este escenario, los temas relacionados con la biodiversidad y su problemática se presentan como áreas de estudio con un gran potencial educativo, adecuados para ser tratados en el ámbito de la educación formal. Esto permite que los estudiantes puedan examinar su importancia, así como las causas e impactos del deterioro de la biodiversidad debido a la influencia de las actividades humanas.

Este trabajo constituye una revisión de diversos estudios realizados en Argentina acerca de especies exóticas e invasiones biológicas en el ámbito educativo.

### Los diseños curriculares

El conocimiento y el reconocimiento de las especies nativas y las EEI y sus amenazas potenciales deben incluirse en currículos educativos formales y no formales utilizando herramientas novedosas y amigables para captar también la atención de las nuevas generaciones. (Sosa *et al.*, 2021).

En los diseños curriculares de la provincia de Buenos Aires (Argentina) que rigen la educación secundaria no se explicita puntualmente a la introducción de especies exóticas y las invasiones biológicas como tema específico en el área de ciencias naturales. Sin embargo, los contenidos relacionados con la dinámica ecosistémica, las relaciones tróficas y la conservación de la biodiversidad que se enseñan en la Educación Secundaria Básica (ESB) y la Educación Secundaria Superior (ESS) ofrecen la oportunidad de explorar el tema de las invasiones biológicas y las especies exóticas (Vilches, 2022).

### Conocimiento de los estudiantes sobre especies exóticas e invasiones biológicas

Las invasiones biológicas son comúnmente reconocidas como una importante amenaza para la biodiversidad, un impulsor del cambio global y un problema socio-económico. A pesar de esto, los futuros profesores en Argentina no las

consideran una de las causas principales de la pérdida de biodiversidad (Bermúdez y Lindemann-Matthies, 2020; Sosa et al., 2021; Vilches et al., 2015).

Algunos autores señalan que los estudiantes argentinos conocen más a las especies exóticas que a las nativas y, además están familiarizados con las mascotas, las plantas ornamentales y los mamíferos carismáticos (Campos et al., 2013); también consideran a los animales domésticos como especies nativas (Vilches et al., 2018).

En un estudio realizado con estudiantes del profesorado en Biología de Argentina (Vilches et al., 2014) se indaga sobre el concepto de especie exótica, ante lo cual, la mayoría de los alumnos responden de manera correcta con expresiones tales como: "Especie introducida en un ambiente al cual no pertenece y proviene de otro lugar"; "Especie introducida en un ambiente que no es el que habita originalmente"; "Especie que se introduce a una región que no pertenece a su área de distribución original". Otras respuestas evidencian confusiones tales como asignar al concepto de especie exótica el de endémica ("Es propia y única de un lugar"); también se observan respuestas que indican que una especie exótica es una especie rara o no hallada frecuentemente o poco abundante. En otros casos, se asocian las especies exóticas a organismos provenientes del exterior del país (por fuera de los límites políticos). Si bien la mayoría de los estudiantes definió especie exótica correctamente, parte de la muestra evidencia dificultades para conceptualizar (Vilches et al., 2014).

Ante la consulta sobre qué es una invasión biológica, los resultados indican que la mayoría de los encuestados realizan una simplificación del concepto y lo definen como la introducción de una especie exótica. De este modo, los estudiantes consideran que con la simple introducción de una especie ocurrirá inequívocamente una invasión biológica, situación que no se da de manera habitual, pues existe una baja probabilidad de que una especie introducida provoque una invasión. Las invasiones biológicas son el resultado final de un proceso, de una secuencia de pasos o etapas que se deben cumplir (Darrigran et al., 2012). En este sentido, Darrigran y Damborenea (2006) señalan una tendencia en la que aproximadamente el 10 % de las especies introducidas pueden establecerse en el ecosistema invadido.

Al indagar sobre los impactos que pueden ocasionar las invasiones biológicas se observa que la mayoría de las respuestas vinculan a las bioinvasiones con algún tipo de consecuencia ecológica, algunas de ellas son: "Competencia de los organismos introducidos con los nativos", "Las consecuencias que pueden traer es la hibridación de especies generando especies nuevas", "[...] eliminación de una especie, ya sea por competencia por el alimento, el territorio etc.", "[...] alteran la dinámica y composición de un ecosistema", "[...] alterar la cadena trófica". Los impactos socioeconómicos y sanitarios fueron escasamente mencionados por los estudiantes.

En lo que respecta a la gestión sobre las EEI, la mayoría de los estudiantes coinciden en que la responsabilidad principal en la prevención recae en el Estado, tal como se recomienda en el artículo 8 h del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB, 1992). Sin embargo, dado que los problemas ambientales son complejos y no tienen soluciones únicas, abordar estas problemáticas requiere también contar con el conocimiento científico y técnico necesario para prevenir tanto la llegada como el establecimiento de especies invasoras (Vilches *et al.*, 2010). Esto implica no solo evitar la bioinvasión, sino también concientizar a la sociedad sobre este problema (Darrigran *et al.*, 2012). Un aspecto que no fue resaltado por los estudiantes está vinculado con la importancia de educar a las personas como medio para generar conciencia, tanto para evitar la introducción intencional de especies exóticas y su adquisición como mascotas, como para que los ciudadanos exijan a los funcionarios un manejo adecuado de esta problemática ambiental.

### Los libros de textos escolares y el tratamiento de las invasiones biológicas

En este apartado se analiza el modo en que los libros de texto de Ciencias Naturales y Biología utilizados en la Educación Secundaria Básica (ESB) y la Educación Secundaria Superior (ESS) de la provincia de Buenos Aires (Argentina) abordan y describen el tema de las invasiones biológicas y las especies exóticas. Los libros de texto actúan como mediadores del conocimiento científico para los estudiantes, desempeñando un papel crucial en su formación intelectual. Por lo tanto, es de suma importancia que la calidad de los contenidos desarrollados se mantenga, ya que esto impacta significativamente en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, guiando y orientando muchas de sus actividades.

En lo que respecta a las definiciones de especies nativas, exóticas e invasiones biológicas que se encuentran en los libros de texto (LT), se observa que, en general no proporcionan definiciones claras sobre especies nativas, y menos de la mitad de los LT de ambos niveles incluyen definiciones sobre especies exóticas e invasiones biológicas. En relación con las definiciones de especies exóticas, algunas muestran una simplificación del concepto al referirse simplemente a especies que se encuentran fuera de su área natural de distribución, mientras que otras lo utilizan como sinónimo de foráneo o especie invasora. Estos resultados concuerdan con investigaciones en las que se les pedía a los estudiantes de Porto Alegre (Brasil) que definan especie exótica y nativa (De Souza Proença et al., 2017).

Respecto a las definiciones de invasiones biológicas, algunas también simplifican el proceso al asociarlo únicamente con animales, mientras que otras hacen referencia a diferentes aspectos del proceso de invasión o al impacto ambiental provocado por el crecimiento poblacional de una especie exótica.

Estas características que se observan en los LT escolares también son halladas en los artículos científicos sobre biología de las invasiones; de este modo, Pereyra (2016) señala que no es común que haya una definición de especie invasora, y cuando está presente, en general no es posible inferir el criterio que se utilizó para etiquetar una especie como invasora. En este sentido, sería apropiado que los LT incorporen definiciones más claras que indiquen el criterio en el cual se basan. La inclusión de definiciones en los textos es necesaria para evitar interpretaciones erróneas que podrían obstaculizar el aprendizaje. Por lo tanto, definiciones estandarizadas y claramente enunciadas contribuirían a una comprensión más eficaz de este tema. La falta de definiciones en los textos podría ser una barrera para la comprensión o contribuir a la formación de ideas incorrectas, lo que podría dificultar el aprendizaje sobre este tema.

En relación con la terminología utilizada por los textos para describir las especies exóticas e invasiones biológicas, se observa una variedad de términos que se emplean como sinónimos para referirse a estos conceptos, tanto en literatura científica (Lockwood et al. 2007), como en los libros de textos. Esto genera dificultades para alcanzar una conceptualización precisa que se ajuste al conocimiento científico de referencia. Por lo tanto, sería recomendable que las

editoriales responsables de la producción de textos escolares establezcan criterios uniformes en cuanto al uso de la terminología, especialmente al tratar el tema de las invasiones biológicas.

Según lo expuesto y en concordancia con Campos *et al.* (2023), el uso de una gran variedad de términos puede dificultar la adquisición de una conceptualización precisa que se alinee con el conocimiento científico establecido. Además, muchos de estos términos pueden no denotar lo mismo, lo que puede resultar en concepciones intuitivas sobre lo que constituye una especie exótica, invasora, autóctona, entre otros. Comunicar sobre las especies exóticas y las invasiones biológicas a un público no especializado puede presentar un desafío considerable. La falta de comprensión de los conceptos clave relacionados con la biología de las invasiones, junto con la presencia de múltiples y ambiguas definiciones de términos como "nativo", "exótico" y "especies invasoras", puede generar confusión entre personas no familiarizadas con el tema (Verbrugge *et al.*, 2021). De acuerdo con lo hallado en los libros de texto y en los debates actuales sobre la multiplicidad de términos utilizados para referirse a las especies exóticas, sería aconsejable que los manuales o libros de texto escolares incluyan definiciones claras de los términos que se utilizan en sus páginas.

En cuanto al impacto generado por las especies exóticas invasoras, se observa que los libros de texto de ambos niveles educativos prestan mayor atención al impacto ecológico, mientras que las referencias al efecto económico y sanitario son escasas. Dentro del impacto ecológico, se destaca principalmente la competencia, desplazamiento y extinción de las especies nativas como la subcategoría más relevante, lo que sugiere que son las especies las más afectadas por las invasiones. Este enfoque refleja la tendencia a considerar al componente específico de la biodiversidad y a poner en primer plano a las especies como el centro de la pérdida de biodiversidad. Aunque las invasiones biológicas tienen efectos en los ecosistemas naturales, también es importante destacar el efecto económico y sanitario asociado, lo que resalta la falta de reconocimiento por parte de las editoriales respecto a los diversos impactos que pueden tener estas invasiones.

En lo que respecta a los ejemplos relacionados con las especies exóticas e invasiones biológicas la mayoría de los libros de texto incorporan ejemplos al

abordar esta temática, siendo los mamíferos el grupo que recibe mayor atención, seguido por las plantas. Por su parte, los organismos invertebrados presentaron baja representación en los libros de texto. Al respecto, es importante destacar que este grupo constituye uno de los principales invasores a nivel mundial debido a diversas razones, como su consumo como alimento por humanos u otros animales, su uso como mascotas y en el control biológico, o su transporte accidental. En Argentina, se han registrado aproximadamente 730 especies invasoras, de las cuales el 21 % son invertebrados, siendo los artrópodos los más comunes (Vilches, 2022). Los ejemplos de organismos invertebrados fueron escasos en los libros de texto, a pesar de que constituyen uno de los principales grupos de invasores a nivel mundial. En este sentido, en Argentina se han registrado 730 especies invasoras, de las cuales el 21% son invertebrados, siendo los artrópodos los más abundantes (InBiAr, 2020).

## CONCLUSIONES

La problemática relacionada con las invasiones biológicas se enmarca en las cuestiones socio científicas, dado que involucran problemas complejos que requieren tanto conocimientos científicos como consideraciones sociales. Es fundamental abordar estos temas con los estudiantes, ya que son problemas actuales y reales que pueden despertar un gran interés y proporcionar herramientas para fomentar la argumentación, la adopción de posturas, la participación y el diálogo entre diferentes saberes. Por ello sería deseable la implementación de estrategias de capacitación docente que les permitan actuar como mediadores competentes en la construcción del conocimiento escolar, integrando la vigilancia epistemológica en sus competencias y saberes profesionales.

Es esencial que los estudiantes se familiaricen, reconozcan y valoren de manera positiva a las especies nativas de su entorno, y en este sentido, la escuela tiene un papel fundamental. Por lo tanto, es necesario que los docentes diseñen y apliquen unidades didácticas que utilicen ejemplos concretos de especies nativas, contextualizadas en el entorno local de los estudiantes.

## CONSIDERACIONES FINALES

Las bioinvasiones lejos de ser solo un hecho eventual, aislado (o lo que podemos comparar con “una foto” que atrapa un momento), es un proceso dinámico (“una película”), en la que básicamente se debe considerar para su tratamiento dos elementos (“actores”), especies y ambiente, relacionados estos (“director de la película”) por la forma en que llegan al nuevo ecosistema, es decir, el vector (Figura 11).

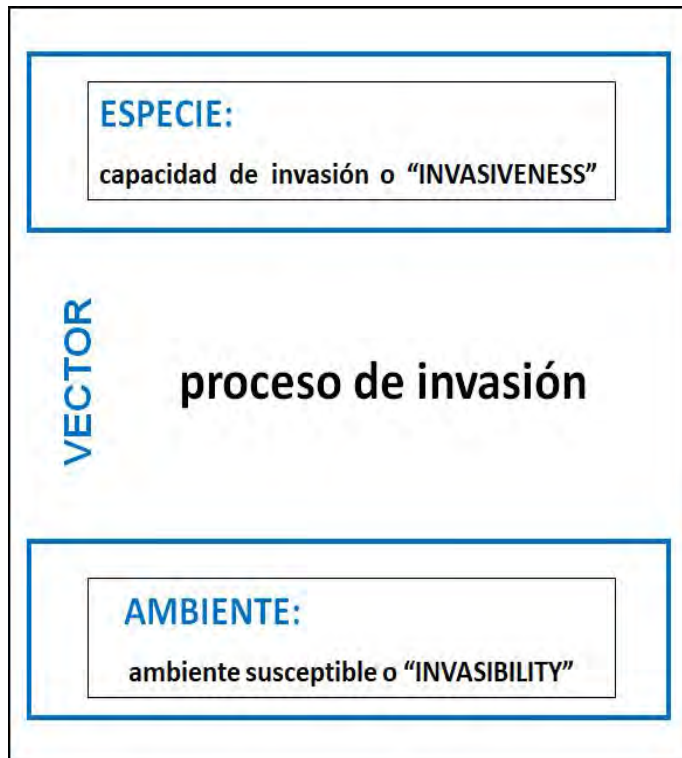


Figura 11. En esta figura, se observan los elementos fundamentales para que pueda realizarse una bioinvasión. La capacidad de la especie en adaptarse al nuevo ambiente, el estado del nuevo ambiente para mantener a la especie no-nativa; y ambos elementos relacionados por un vector (las formas o los materiales con los que estas especies no-nativas son transportadas).

Sobre la base de los distintos conocimientos expuestos en este capítulo, la biodiversidad debe encararse considerando su condición multidimensional y, se comprueba una vez más que, al considerar una estrategia de conservación para actuar sobre uno de los causantes más significativos de pérdida de la biodiversidad, como son las invasiones biológicas, en la actualidad solo se cumplen dos de los tres componentes necesarios para que la conservación sea sostenida en el tiempo (Figura 12). En Argentina y varios países de América del Sur, existen grupos de investigación que cubren en forma positiva con el componente “generación de conocimiento”, también existen instituciones que desarrollan correctamente el componente “manejo”. Por último, el tercer componente, “política socio-ambiental”, debe presentar capacidad (de conocimiento, operativa y de decisión), y ser estable a través del tiempo y de los gobiernos.

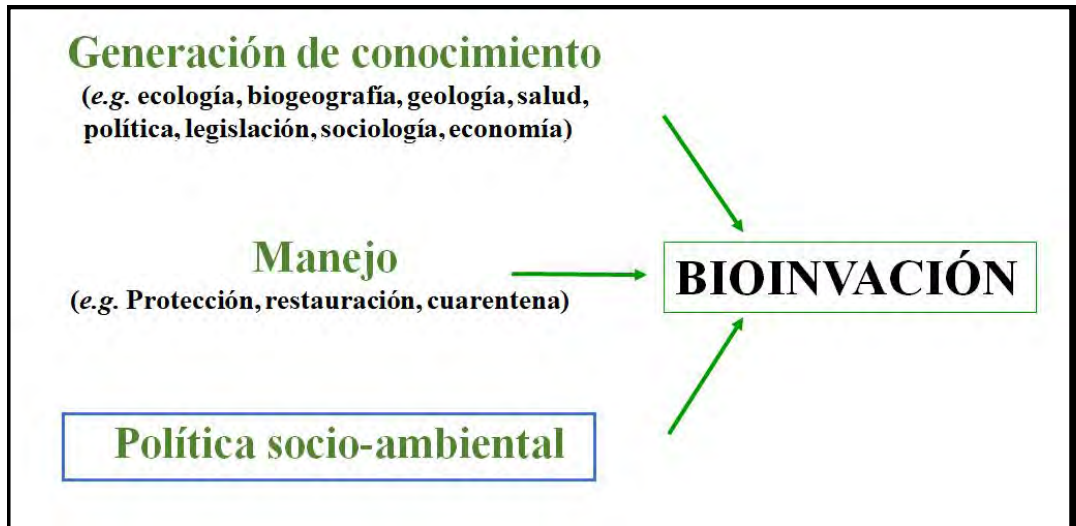


Figura 12. Estrategia de gestión sobre el problema ambiental de las bioinvasiones (modificado de Cowie, 2004).

Frecuentemente, el funcionario o responsable de turno encargado de este último componente (recuadro en la Figura 12), desconoce el tema ambiental en general y el de las bioinvasiones en particular, lo que se evidencia por el desinterés en mantener y fortalecer los dos componentes anteriores, transformándolos en improductivos o desaparecen. Si bien estos tres componentes hacen un todo en



la actividad de la prevención/control de las bioinvasiones y, por lo tanto, en el cuidado de la biodiversidad, hay uno de esos componentes que no se ha logrado apuntalar y mantener, es decir, una política ambiental continua, persistente a lo largo del tiempo, con la finalidad de no solo mantener a los otros dos componentes, sino optimizarlos.

Lo planteado en el párrafo anterior, se lograría a medio y largo plazo, a través de la educación y el rol que cumplen los docentes, el grado de formación que ellos tengan y el impacto que logren en sus estudiantes. De esta forma se estará concienciado a la sociedad de exigir a sus funcionarios de turno, que cumplan en desarrollar una política socio-ambiental sostenida en el tiempo. Asimismo, las entidades nacionales e internacionales deben involucrarse y fomentar la realización de ese desafío docente. Cuando esto suceda, será un indicador de que el desafío docente que se menciona en este artículo, ya se desarrolla en forma aislada y que la formación docente está encaminada y en vías de estar capacitada para cumplir con lo planteado en este artículo.

## AGRADECIMIENTO

A los organizadores del XII FIRMA 2023 online, por convocarnos y en especial a César Lodeiros, por la ayuda brindada para la realización de la Sesión 4 "Bioinvasores: Efectos e impactos en América del Sur". El presente artículo pudo realizarse por la financiación parcial de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil mediante la beca de Maestría de Lucas Rieger de Oliveira; y con el financiamiento parcial del PICT-2019-01417; UNLP 11/H949; PIP 1966 (GD y AV).

## REFERENCIAS

Amaral, V. S.; Simone, L. R. L.; de Souza Tâmega, F. T.; Barbieri, E.; Calazans, S. H.; Coutinho, R. & Spotorno-Oliveira, P. (2020). New records of the non-indigenous oyster *Saccostrea cucullata* (Bivalvia: Ostreidae) from the southeast and south Brazilian coast. *Regional Studies in Marine Science*, 33, 100924.

- Anil, A. C.; Venkat, K.; Sawant, S. S.; Dileepkumar, M.; Dhargalkar, V. K.; Ramaiah, N. & Ansari, Z. A. (2002). Marine bioinvasion: Concern for ecology and shipping. *Current Science*, 83(3), 214-218.
- Barros-Alves S. D., Almeida A.C., Fransozo V., Alves D.F., Silva J.C. & Cobo V.J. (2012). Population biology of shrimp *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1778) (Decapoda, Palaemonoidea) at the Grande River the northwest of the state of Minas Gerais, Brazil. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 24: 266-275.
- Bastida R (1971). Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales. Hidrobiología*. 3:203–285.
- Bellard C., Thuiller W., Leroy B., Genovesi P., Bakkenes M. & Courchamp F. (2013). Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*, 19, 3740–3748.
- Belz, C. E. (2006). Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Curitiba, PR. 102pp.
- Bermudez, G. M., & Lindemann-Matthies, P. (2020). "What matters is species richness" high school students' understanding of the components of biodiversity. *Research in Science Education*, 50(6), 2159-2187.
- Böhm, M., N.I. Dewhurst-Richman, M. Seddon, S.E.H. Ledger, C. Albrecht, D. Allen, A.E. Bogan, J. Cordeiro, K.S. Cummings, A. Cuttelod, G. DARRIGRAN, W.I Darwall, Z. Fehér, C. Gibson, D.L. Graf, F. Köhler, M.I Lopes-Lima, G. Pastorino, K.E. Perez, K. Smith, D. van Damme, M. V. Vinarski, T. von Proschwitz, T. von Rintelen, D.C. Aldridge, N.A. Aravind, P.B. Budha, C. Clavijo, D. Van Tu, O. Gargominy, M. Ghamizi, M. Haase, C. Hilton-Taylor, P.D. Johnson, Ü. Kebapçı, J. Lajtner, C.N. Lange, D.A.W. Lepitzki, A. Martínez-Ortí, E.A. Moorkens, E. Neubert, C.M. Pollock, V. Prié, C. Radea, R. Ramirez, M.A. Ramos, S. Santos, R. Slapnik, M.O. Son, A-S. Stensgaard & B. Collen (2021). The conservation status of the world's freshwater molluscs. *Hydrobiologia*. 848, 3231–3254

- Bortolus, A. & Schwindt E. (2022). Biological invasions and human dimensions: We still need to work hard on our social perspectives. *Ecologia Austral*, 32:767-783. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.2.1.1890>
- Boyd, C. E.; D'Abramo, L. R.; Glencross, B. D.; Huyben, D. C.; Juarez, L. M.; Lockwood, G. S.; McNevin, A. A.; Tacon, A. G. J.; Teletchea, F.; Tomasso Jr., J.R.; Tucker, C. S. & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633.
- IBAMA. (2017). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis –Diagnóstico sobre a invasão do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Brasil.
- Campos, C. M., Nates, J. & Lindemann-Matthies, P. (2013). Percepción y conocimiento de la biodiversidad por estudiantes urbanos y rurales de las tierras áridas del centro-oeste de Argentina. *Ecologia Austral* 23(3), 174-183
- Campos, C. M., Bermúdez, G. M., Díaz, G. B. & Vilches, A. M. (2023). Knowledge about exotic species in the formal educational sphere in Argentina. En: A. E. J. Valenzuela, C. B. Anderson, R. A. Ojeda y S. A. Ballari (Eds.). *Invasive Exotic Mammals in Argentina*. SAREM series A: Mammalogical Research.
- Capdevila Argüelles, L., Iglesias García, A. Orueta, J. & Zilleti, B. (2006). *Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo*. Disponible en: [http://www.mma.es/secciones/el\\_ministerio/organismos/oapn/pdf/edit\\_libro\\_04\\_00.pdf](http://www.mma.es/secciones/el_ministerio/organismos/oapn/pdf/edit_libro_04_00.pdf)
- Capinha C., Leung B. & Anastácio P. (2011). Predicting worldwide invasiveness for four major problematic decapods: An evaluation of using different calibration sets. *Ecography*, 34: 448-459.
- Carlton, J. T. & J. B. Geller. 1993. Ecological roulette: The global transport of nonindigenous marine organisms. *Science* 261: 78-82

- Carranza, A., I. Agudo-Padrón, G.A. Collado, C. Damborenea, A. Fabres, D.E. Gutiérrez Gregoric, C. Lodeiros, S. Ludwig, G. Pastorino, P. Penchaszadeh, R.B. Salvador, P. Spotorno, S. Thiengo, T. Vidigal & G. Darrigran (2023) Socio-Ecological Impacts of Non-Native and Transplanted Aquatic Molluscs Species in South America. What do We Really Know? *Hydrobiologia*, 850:1001–1020 <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05164-z>
- Castro, J., Valbuena, E., Escobar, G., Roa, R. & López, L. (2021). Multidimensionalidad de la biodiversidad. Aportes a la formación inicial de profesores de biología en Colombia. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (50), 131 - 148. <https://doi.org/10.17227/ted.num50-11978>
- CDB. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. Pp32. Disponible en: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Coetzee B.W.T., Robertson M.P., Erasmus B.F.N., van Rensburg B.J. & Thuiller W. (2009). Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa will become less effective for conserving endemic birds under climate change. *Global Change Biology*, 18: 701-710.
- Collart O.O. & Moreira L.C. (1993). Potencial pesqueiro de *Macrobrachium amazonicum* na Amazônia Central (Ilha do Careiro): Variação da abundância e do comprimento. *Amazoniana*, 12: 399-413.
- Cowie, R. H. (2004). Disappearing snails and alien invasions: the biodiversity/conservation interface in the pacific. *Journal of Conchology*. Especial Publication 3: 23-37.
- Darrigran, G., Damborenea, M. C., Penchaszadeh, P., & Taraborelli, A. C. (2003). Adjustment of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) after ten years of invasion in the Americas. *Journal of Shellfish Research*, 22 (1), 141-146.
- Darrigran, G. y Damborenea, M. C. (2006). Bio-Invasiones. En: Darrigran, G. & Damborenea, M. C. (Eds.). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. EDULP, La Plata. Argentina. 220 pp.

Darrigran, G.; Archubi, F. & Mansur, M. (2012). Manejo Integrado de Especies Invasoras. En: M. Mansur; C. Pinheiro dos Santos; D. Pereira; I.C. Padula Paz; M. L. Leite Zurita; M. T. Raya Rodriguez; M. Vilar Nehrke y P. E. Aydos Bergonci (org.). Moluscos Limnicos Invasores no Brasil. Biologia, prevenção, controle (pp. 383-388). Porto Alegre: Redes Editora

Darrigran G, Agudo-Padrón I, Baez P, Belz C, Cardoso F, Carranza A, Collado G, Correoso M, Cuezco MG, Fabres A, Gutiérrez Gregoric DE, Letelier S, Ludwig S, Mansur MC, Pastorino G, Penchaszadeh P, Peralta C, Rebolledo A, Rumi A, Santos S, Thiengo S, Vidigal T & Damborenea C (2020) Non-native mollusks throughout South America: emergent patterns in an understudied continent. Biol Invasions 22:853–871. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02178-4> .

Darrigran, G., I. Agudo-Padrón, P. Baez, C. Belz, F. Cardoso, G.A. Collado, M. Correoso, M. G. Cuezco, C. Damborenea, A. A. Fabres, M. A. Fernandez, S. R. Gomes, D. E. Gutiérrez Gregoric, S. Letelier, C. Lodeiros, S. Ludwig, M. C. Mansur, S. Narciso, G. Pastorino, P. E. Penchaszadeh, A. C. Peralta, A. Rebolledo, A. Rumi, R. B. Salvador, S. Santos, P. Spotorno, S. Carvalho Thiengo, T. Vidigal & A. Carranza (2022-online) Species movements within biogeographic regions: Exploring the distribution of transplanted mollusc species in South America. Biological Invasions- BINV-D-21-00428R4 DOI: 10.1007/s10530-022-02942-z

Darrigran, G.; O. Lasso-Alcalá; C. Villaseñor-Parada; S. Falco; T. Maiztegui & C. Damborenea (2023). Especies acuáticas invasoras. Foro Iberoam. Rec. Mar. Acuí. 11: 23-41. En: Baltazar-Guerrero P. M., González-Henríquez N., Rey-Méndez M., Alió Mingo J.J., Zapata-Vivenes E., De Donato M., Lodeiros C. 2023. XI Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura, 2022. Ediciones AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canaria, España, 821pp.

de Lucía M; Darrigran G. & Gutierrez Gregoric D (2023) The most problematic freshwater invasive species in South America, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), and its status after 30 years of invasion Aquatic Sciences (2023) 85:5 <https://doi.org/10.1007/s00027-022-00907-x>.

De Souza Proença, M., Dal-Farra, R. & Oslaj, E. (2017). Espécies Nativas e Exóticas

no Ensino de Ciências: uma Avaliação do Conhecimento dos Estudantes do Ensino Fundamental. *Contexto & Educação*, 32, (103): 213-247.

ECCP, (2017). Estrategia de Comunicación y Concientización Pública. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/biodiversidad/exoticas-invasoras>

Elías R, Jaubet ML, Llanos EN, Sánchez MA, Rivero MS, Garaffo GV & Sandrini-Neto L (2015). Effect of the invader *Boccardia proboscidea* (Polychaete: Spionidae) on the richness, diversity, and structure of the SW Atlantic epilithic intertidal community. *Marine Pollution Bulletin*. 91:530–536.

Elton, E., Gruber, M.J. & Green, C. (2007) The impact of mutual fund family membership on investor risk. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 42(2), 257-278.

FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Fasola, L. & Roesler, I. (2016). Invasive predator control program in Austral Patagonia for endangered bird conservation. *European Journal of Wildlife Research*, 62:601–608

Felipi, P. G. & Silva-Souza, Â. T. (2008). *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819): um bivalve parasito de peixes de água doce. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(4), 895-904.

Forneck, S. C.; Dutra, F. M.; Zacarkim, C. E. & Cunico, A. M. (2016). Invasion risks by non-native freshwater fishes due to aquaculture activity in a Neotropical stream. *Hydrobiologia*, 773, 193-205.

GBIF (2022) Global Biodiversity Information Facility datasets. Department of Resources & Development. <https://www.gbif.org>

Global Biodiversity Information Facility (GBIF. Org). (2022). GBIF Occurrence Download. [Enhttps://doi.org/10.15468/dl.6jswar](https://doi.org/10.15468/dl.6jswar)

Gutierrez JL & Jones CG (2006). Physical Ecosystem Engineers as Agents of Biogeochemical Heterogeneity. *BioScience* 56 No. 3: 227 – 236.

Hijmans, R.J. (2022). Raster: Geographic Data Analysis and Modeling; R package version 3.5-15. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

Holt TJ, Rees EI, Hawkins SJ & Seed R (1998). An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish Association for Marine Science (UK Marine SACs Project). 9:1-170.

InBiAr (2020). Base de datos sobre Invasiones Biológicas en Argentina. <http://www.inbiar.uns.edu.ar/>

IPBES (2023). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T., Bacher, S., Galil, B. S., Hulme, P. E., Ikeda, T., Sankaran, K. V., McGeoch, M. A., Meyerson, L. A., Nuñez, M. A., Ordonez, A., Rahlao, S. J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A. W., and Vandvik, V. (eds.).

IPBES (2023): Resumen para responsables de políticas de la evaluación temática de especies exóticas invasoras y su control de la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas. Helen E. Roy, Anibal Pauchard, Peter Stoett, Tanara Renard Truong, Sven Bacher, Bella S. Galil, Philip E. Hulme, Tohru Ikeda, Sankaran Kavileveetil, Melodie A. McGeoch, Laura A. Meyerson, Martin A. Nuñez, Alejandro Ordonez, Sebataolo J. Rahlao, Evangelina Schwindt, Hanno Seebens Andy W. Sheppard, Vigdis Vandvik. ADVANCED UNEDITED VERSION - 4 September 2023

Jaubet ML (2013). *Boccardia proboscidea*, un poliqueto invasor en el Atlántico Sudoccidental y su efecto sobre la comunidad bentónica intermareal. PhD Thesis, National University of Mar del Plata, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, 207 pp

- Jaubet ML, Sanchez MA, Rivero MS, Garaffo GV, Vallarino EA & Elías R (2011). Intertidal biogenic reefs built by the polychaete *Boccardia proboscidea* in sewage-impacted areas of Argentina, SW Atlantic. *Marine Ecology: an evolutionary perspective*. 32:188-197.
- Jaubet ML, Garaffo GV, Vallarino EA & Elías R (2015). Invasive polychaete *Boccardia proboscidea* Hartman, 1940 (Polychaeta: Spionidae) in sewage-impacted areas of the SW Atlantic coasts: morphological and reproductive patterns. *Marine Ecology*. 36: 611–622, <https://doi.org/10.1111/maec.12170>
- Jaubet ML, Saracho Bottero MA, Hines E, Elías R & Garaffo GV (2018). *Boccardia proboscidea* (Polychaete: Spionidae) from SW Atlantic: How Far Has the Invasion Spread?. *Aquatic Invasions*. 13(3):351–363. <https://doi.org/10.3391/ai.2018.13.3.04>
- Jaubet ML, Garaffo GV, Cuello GV, Hines E, Elías R & Llanos EN (2024). Submarine outfall and new sewage treatment plant modulate the response of intertidal benthic communities in a SW Atlantic area. *Marine Pollution Bulletin*. 199:115946. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115946>
- Kutty M.N., Herman F. & Le Menn H. (2000). Culture of other prawn species. In: New M.B., Valenti, W.C. (Eds.). *Freshwater Prawn Culture: The Farming of Macrobrachium rosenbergii*; Blackwell Science: Oxford, UK. pp. 393-410.
- Llanos EN, Jaubet ML & Elías R (2019). The intertidal benthic community of SW Atlantic as an environmental indicator of 50 years of human mediated changes. *Marine Biology Research*. <https://doi.org/10.1080/17451000.2019.1674875>
- Llanos EN, Saracho Bottero MA, Jaubet ML, Garaffo GV, Hines E, Cuello GV & Elías R (2021). The boom-bust dynamic of the invader *Boccardia proboscidea* mediated by sewage discharge: The response of the intertidal epilithic community in the Southwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*. 164:112045. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112045>
- Lockwood, J. L., M. Hoopes & M. P. Marchetti. (2007). *Invasion ecology*. Singapore: Blackwell Publishing. 304 pp.



- López-Gappa JJ, Tablado A. & Magaldi NH (1990). Influence of sewage pollution on a rock intertidal community dominated by the mytilid *Brachidontes rodriguezii*. *Marine Ecology Progress Series*. 63:163-175.
- López Gappa JJ, Tablado A & Magaldi NH (1993). Seasonal changes in an intertidal community affected by sewage pollution. *Environmental Pollution*. 82:157-165.
- Loureiro T.G., Bueno S.L.S., Anastácio P.M., Almerão M.P., Souty-Grosset C. & Araujo P.B. (2015) Distribution, introduction pathway, and invasion risk analysis of the North American crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) in Southeast Brazil. *Journal Of the Crustacean Biology*, 35: 88-96.
- Mantovano T., Bailly D., Ferreira J.H.D., Conceição E.O.d., Cassemiro F.A.S., de Campos R., Mormul R.P., Rangel T.F. & Lansac-Tôha F.A. (2021). A global analysis of the susceptibility of river basins to invasion of a freshwater zooplankton (*Daphnia lumholtzi*). *Freshwater Biology*, 66: 683-698.
- Matschke, V.M. (2020) Análisis de situación de las acciones de manejo ambiental frente a bioinvasiones acuáticas: el caso del mejillón dorado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en el Río de la Plata, Argentina. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Quilmes, Secretaría de Posgrado, Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable. Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto, junio de 2020, pp. 160, <http://ridaa.unq.edu.ar>,
- Messano, L. V. R.; Gonçalves, J. E. A.; Messano, H. F.; Campos, S. H. C. & Coutinho, R. (2019). First report of the Asian green mussel *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) in Rio de Janeiro, Brazil: a new record for the southern Atlantic Ocean. *BioInvasions Records*, 8(3), 653-660.
- Miyahira, I.C.; C. Clavijo; C.T. Calli; M.G. Cuezco; G. Darrigran; S.R. Gomes; C.A. Lasso; M. C. D. Mansur; M.S. Pena; R. Ramírez; R. C.L. dos Santos; S.B. dos Santos; F. Scarabino; S.H. Torres; R.E. Vogler & R.H. Cowie. (2022). The conservation of non marine molluscs in South America: where we are and how to move forward. *Biodiversity and Conservation*, 31:2543–2574 <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02446-1>

- Morton, B. (1996). The aquatic nuisance species problem: A global perspective and review. In: F. D'Itri, ed., *Zebra Mussels and other Aquatic Species*, Ann Arbor Press, Ann Arbor, Michigan. Pp. 1-54.
- Naimi B., Hamm N.A., Groen T.A., Skidmore A.K. & Toxopeus A.G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*, 37: 191-203.
- Oliveira L.R., Brito G., Gama M., Ovando X.M.C., Anastácio P. & Cardoso S.J. (2023). Non-Native Decapods in South America: Risk Assessment and Potential Impacts. *Diversity*, 15: 841. <https://doi.org/10.3390/d15070841>.
- Olivier SR, Bastida R & Torti MR (1968). Las comunidades bentónicas de los alrededores de Mar del Plata. *Actas del IV congreso latinoamericano de zoología*, (Caracas, Venezuela): 559-594.
- Outinen, O.; Bailey, S. A.; Broeg, K.; Chasse, J.; Clarke, S.; Daigle, R. M.; Gollasch, S.; Kakkonen, J. E.; Lehtiniemi, M.; Normant-Saremba, M.; Ogilvie, D. & Viard, F. (2021). Exceptions and exemptions under the ballast water management convention—Sustainable alternatives for ballast water management? *Journal of Environmental Management*, 293, 112823.
- Pereyra, P. J. (2016). Revisiting the use of the invasive species concept: an empirical approach. *Austral ecology*, 41(5), 519-528.
- Peterson A.T. & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the concepts right. *Nature Conservation*, 10: 102-107.
- Prieto, A. S.; Arrieche, D. & García, Y. (2009). Population dynamics aspects of *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) in the Morro de Guarapo, Araya Peninsula, Venezuela. *Interciencia*, 34(3), 202-208.
- R Core Team. R (2020). A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, Available online: <https://www.R-project.org/>.

- Rabelo, M. M.; Dimase, M. & Paula-Moraes, S. V. (2022). Ecology and management of the invasive land snail *Bulimulus bonariensis* (Rafinesque, 1833) (Stylommatophora: Bulimulidae) in row crops. *Frontiers in Insect Science*, 2, 1056545.
- Sánchez MA (2014). Aplicación de un diseño BACI para la evaluación de impacto antrópico mediante poliquetos indicadores y la estructura de la comunidad intermareal de *Brachidontes rodriguezii*. PhD Thesis, National University of Mar del Plata, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, 206 pp
- Segura B.S.G. (2005). Las especies introducidas: ¿benéficas o dañinas? In: Sánchez O., E. Peters R., Márquez-Hutizil E., Vega G., Portales M., Valdés y D. Azura (eds). *Temas sobre restauración Ecológica*. Diplomado en restauración ecológica, INE-SEMARNAT, México, pp. 127-133
- Silveira Jr., N. & Couto, F. R. (2023). Assentamento Natural da Espécie Exótica *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), Mexilhão do Mediterrâneo, na Baía Sul da Ilha de Santa Catarina – Brasil, nos Primeiros Anos de Sua Invasão. X Aquaciência – Congresso Brasileiro de Aquicultura e Biologia Aquática. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Simberloff, D., Schmitz, D. & Brown, T. (1997). *Strangers in paradise. Impact and management of nonindigenous species in Florida*. Island Press. Washington, D.C.
- Sosa, A. J., Jiménez, N. L., Faltlhauser, A. C., Righetti, T., Mc Kay, F., Bruzzone, O. A., & Fernández Souto, A. (2021). The educational community and its knowledge and perceptions of native and invasive alien species. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
- South, A. (2017). Rnaturalearth: World Map Data from Natural Earth. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/rnaturalearth/index.html>.
- Spotorno-Oliveira, P.; Lopes, R. P.; Larroque, A.; Monteiro, D.; Dentzien-Dias, P. & de Souza Tamega, F. T. (2020). First detection of the non-indigenous gastropod *Rapana venosa* in the southernmost coast of Brazil. *Continental Shelf Research*, 194, 104047.

- Strayer D.L. (2010). Alien species in fresh waters: Ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology*, 55: 152-174.
- Susanto G.N. (2021). Crustacea: The Increasing Economic Importance of Crustaceans to Humans. In *Arthropods-Are They Beneficial for Mankind?* IntechOpen: Bandar Lampung, Indonesia, Volume 232.
- Torres, P.J. & Gonzalez Pisani X. (2016). Primer registro del cangrejo verde, *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758), en Golfo Nuevo, Argentina: un nuevo límite norte de distribución en costas patagónicas. *Ecología Austral*, 26(2):134-137
- Torres, S.H.; M. de Lucía; D.E. Gutiérrez Gregoric & G Darrigran (in press) Freshwater mussel conservation in southern South America: update on distribution range and current threats. *Aquatic Science*. 2024
- Tsirintanis, K.; Azzurro, E.; Crocetta, F.; Dimiza, M.; Froglija, C.; Gerovasileiou, V.; Langeneck, J.; Mancinelli, G.; Rosso, A.; Stern, N.; Triantaphyllou, M.; Tsiamis, K.; Turon, X.; Verlaque, M.; Zenetos, A. & Katsanevakis, S. (2022). Bioinvasion impacts on biodiversity, ecosystem services, and human health in the Mediterranean Sea. *Aquatic Invasions*, 17 (3), pp.308-352.
- Vallarino EA & Elías R (1997). The dynamics of an introduced *Balanus glandula* population in the Southwestern Atlantic rocky shores. The consequences on the intertidal community. *Marine Ecology*. 18:319–335. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1997.tb00445.x>
- Vallarino EA (2002). La comunidad bentónica intermareal de *Brachidontes rodriguezii* (D'Orb.) y su relación con el efluente cloacal de la ciudad de Mar del Plata (38° S). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina. 186 pp.
- Vallarino EA, Rivero MS, Gravina MC & Elías R (2002). The community-level response to sewage impact in intertidal mussel beds of the Southwestern Atlantic, and the use of the Shannon index to assess pollution. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 37:25-33.

- Verbrugge, L. N., Dawson, M., Gettys, L. A., Leuven, R. S., Marchante, H., Marchante, E. & Vanderhoeven, S. (2021). Novel tools and best practices for education about invasive alien species. *Management of Biological Invasions* 12(1): 8–24
- Vitousek, P.M.; C.M. D'Antonio; L.L. Loope & R. Westbrooks (1996) Biological Invasions as Global Environmental Change. *American Scientist*, 84: 468-478
- Vilches, A. (2011). Las invasiones biológicas en el campo conceptual de la biodiversidad: Un concepto clave para la educación ambiental en la formación docente. Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.
- Vilches, A. M. (2022). La conceptualización de especie exótica y bioinvasiones en libros de texto del nivel secundario de educación en Argentina. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, España.
- Vilches, A., Arcarúa, N. & Darrigran, G. (2010). Introducción a la Biología de las Invasiones. *Boletín Biológica*. N° 17. 14-19.
- Vilches, A. M., Legarralde, T. I. & Darrigran, G. (2014). El conocimiento de los estudiantes del Profesorado en Ciencias Biológicas sobre " especie exótica" y " bioinvasiones" en Argentina. *Revista Bio-grafía*, 7(12),10-18.
- Vilches, A. M., Legarralde, T. I., Ramírez, S. & Darrigran, G. A. (2015). Conocimiento y valoración de la biodiversidad en estudiantes del último año de profesorado de biología y geografía de Argentina. *Revista de Educación en Biología*,18(2), 46-58.
- Vilches, A., Acosta, R., Barra, R. & Fernández, J. (2018). Evaluación del conocimiento sobre biodiversidad, especies exóticas y nativas en estudiantes de escuelas secundarias de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Educación en Biología - Número Extraordinario*, 362-367.

Welcomme, R.L. (1988). International introductions of inland aquatic species. FAO Fish. Tech. 294. 318 p. <http://www.fao.org/docrep/X5628E/X5628E00.htm>

Wickham, H. (2018) Tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html>.

Zhan, A., E. Briski, D. G. Bock, S. Ghabooli & H. J. MacIsaac (2015). Ascidians as models for studying invasion success Mar Biol (2015) 162:2449–2470



# Biología, fisiología y ecología de especies

# Estudio del índice gonadosomático y factor de condición en estrellas de mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México

Study of the gonadosomatic index and condition factor in starfish, Puerto Ángel, Oaxaca, Mexico

Tania Abigail Martínez-Ángeles, Isaias Hazarmabeth Salgado-Ugarte,  
Verónica Mitsui Saito-Quezada

Universidad Nacional Autónoma de México,  
Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera,  
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza,  
Iztapalapa, Ciudad de México.

Tania Abigail Martínez-Ángeles  [taniamartinez922@gmail.com](mailto:taniamartinez922@gmail.com)

Palabras clave | índice gonadosomático (IGS), factor de condición ( $K_r$ ), maduración gonadal, condición somática.

**RESUMEN** | En este estudio, se investigan las poblaciones de estrellas de mar en Puerto Ángel, Oaxaca, México, utilizando el índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición relativo ( $K_r$ ) para analizar la relación entre la madurez sexual, el tamaño y la salud de tres especies: *Pharia pyramidata*, *Pentaceraster cumingi* y *Phataria unifascialis*. Estos equinodermos desempeñan un papel crucial en los ecosistemas marinos y, mediante la evaluación de sus patrones de reproducción y estado de salud, se obtuvieron datos significativos para su conservación y manejo. Los resultados revelaron patrones de reproducción específicos para cada especie, con la temporada de reproducción de *Pentaceraster cumingi* en invierno y valores máximos de IGS en marzo para las hembras, acompañados de una relación inversa entre el IGS y el  $K_r$ , indicando una disminución en la condición somática durante la maduración gonadal. *Phataria unifascialis* mostró un ciclo reproductivo continuo sin estacionalidad clara, con valores máximos de IGS en octubre tanto para machos como hembras, nuevamente con una relación negativa entre el IGS y el  $K_r$ . En *Pharia pyramidata*, los valores máximos de IGS en agosto señalaron el inicio de la temporada de reproducción, y



también se observará una relación negativa entre el *IGS* y el *Kr* durante la maduración gonadal. Estos hallazgos ofrecen una visión crucial de la reproducción y la salud de las estrellas de mar en este ecosistema marino particular, contribuyendo al entendimiento de su dinámica poblacional y destacando la importancia de la conservación en la región de Puerto Ángel, Oaxaca, México.

**Keywords |**  
gonadosomatic index (*IGS*),  
condition factor (*Kr*),  
gonadal maturation,  
somatic condition.

**ABSTRACT |** This study investigates starfish populations in Puerto Ángel, Oaxaca, Mexico, using the gonadosomatic index (*IGS*) and relative condition factor (*Kr*) to analyze the relationship between sexual maturity, size, and health of three species: *Pharia pyramidata*, *Pentaceraster cumingi*, and *Phataria unifascialis*. These echinoderms play a crucial role in marine ecosystems, and by assessing their reproduction patterns and health status, significant data were obtained for their conservation and management. The results revealed specific reproduction patterns for each species, with *Pentaceraster cumingis* breeding season occurring in winter and maximum *IGS* values in March for females, accompanied by an inverse relationship between *IGS* and *Kr*, indicating a decrease in somatic condition during gonadal maturation. *Phataria unifascialis* exhibited a continuous reproductive cycle without a clear seasonality, with maximum *IGS* values in October for both males and females, again with a negative relationship between *IGS* and *Kr*. In *Pharia pyramidata*, maximum *IGS* values in August marked the beginning of the breeding season, and a negative relationship between *IGS* and *Kr* during gonadal maturation was also observed. These findings provide a crucial insight into the reproduction and health of starfish in this particular marine ecosystem, contributing to the understanding of their population dynamics and emphasizing the importance of conservation in the Puerto Ángel region, Oaxaca, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

La investigación sobre las poblaciones de estrellas de mar en Puerto Ángel, Oaxaca, México, ha desempeñado un papel esencial en la comprensión de la

dinámica de estas especies en su entorno marino. El uso de diferentes índices dentro de los que se encuentran el índice gonadosomático (*IGS*), el índice hepatosomático (*IHS*) y el factor de condición relativa (*Kr*) se ha convertido en una herramienta invaluable para estudiar los ciclos reproductivos y la salud en general de múltiples organismos (Pérez-Olivares, 2014).

El estado de Oaxaca, con su vasta diversidad biológica y extensa costa, alberga una riqueza marina significativa, con más de mil especies de invertebrados y vertebrados registrados en sus aguas (Sarmiento-Náfate et al., 2006; López-Pérez et al., 2012). A pesar de esta biodiversidad, la información sobre los aspectos reproductivos de las estrellas de mar en la región sigue siendo escasa (Caso et al. 1993; Benítez-Villalobos 2000; Palma-Ruiz 2003; Benítez-Villalobos et al. 2008). Estos organismos marinos desempeñan un papel ecológico crucial al regular las poblaciones de algas en sus hábitats (Cintra-Buenrostro, 1997).

Este estudio se propuso analizar la época reproductiva de las 3 especies recolectadas, *Pharia pyramidata*, *Pentaceraster cumingi* y *Phataria unifascialis*. en Puerto Ángel, Oaxaca, a través del análisis de la variación temporal del índice gonadosomático (*IGS*) y la condición por sexos. Nuestra hipótesis sugiere que los índices morfofisiológicos presentarán valores máximos durante la época reproductiva, que se prevé ocurra en invierno (diciembre a marzo), reflejando condiciones ambientales favorables y una relación inversa entre el *IGS* y el *Kr*.

El *IGS*, basado en el peso gonadal en relación con el peso del organismo, se ha utilizado ampliamente como indicador de actividad gonádica y preparación para el desove (Salgado-Ugarte et al., 2020). Por otro lado, el factor de condición relativa (*Kr*), que se relaciona con el bienestar y la madurez sexual de los organismos, se calculó considerando el peso eviscerado obtenido y la longitud de los brazos (Pérez-Olivares, 2014).

Este estudio se centra en comprender mejor la época de reproducción las estrellas de mar en esta localidad, contribuyendo al conocimiento de su dinámica poblacional y subrayando la importancia de la conservación en la región de Puerto Ángel, Oaxaca, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio: Puerto Ángel, Oaxaca, México

Puerto Ángel, Oaxaca, México, es una ubicación de gran relevancia debido a su particular situación geográfica y ecológica en la costa del Pacífico. Este puerto, situado en el suroeste de México (15° 39' 54.04'' latitud N y longitud O 96° 29' 35.44''), forma parte del municipio de Pochutla y se distingue por su entorno climático y marítimo excepcional (Castillo-Cabrera, 2023).

La costa de Puerto Ángel se divide en dos regiones notables. La primera abarca gran parte del Golfo de Tehuantepec, una zona que se extiende desde Salinas del Marqués, Oaxaca, hasta el Río Suchiate, Chiapas. Esta región es conocida por su alta productividad primaria debido a condiciones orográficas que permiten la acción de vientos intensos y es esencial para el ecosistema marino (Saito-Quezada, 2018).

Una característica distintiva de esta área es el fenómeno de las surgencias, que ocurre durante la temporada de "Nortes" de noviembre a febrero. Estos vientos intensos, conocidos como Tehuanos, provocan un chorro de viento frío y seco que cruza hacia el Pacífico, enriqueciendo las aguas circundantes con nutrientes esenciales para la vida marina (Ortega-García et al., 2000). Además, las condiciones del agua de mar en Puerto Ángel están influenciadas por sistemas fríos de alta presión atmosférica que provienen de América del Norte, lo que contribuye a la singularidad de este ecosistema costero (Saito-Quezada, 2018).

La riqueza de esta zona marina, que incluye acantilados, playas, bahías y arrecifes, la convierte en un lugar de gran importancia ecológica y biológica. Es aquí donde se llevó a cabo el estudio del índice gonadosomático y el factor de condición en estrellas de mar, brindando información valiosa sobre la reproducción y salud de estas especies en este entorno único (Saito-Quezada, 2018).

## Recolecta del material biológico

Para la realización de este proyecto de investigación, se utilizó una base de datos resguardada por el laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM. Dicha base fue realizada por la alumna Juárez De Paz Itzel. La recolección de organismos se realizó de manera metódica y precisa durante un periodo que abarcó desde agosto de 2018 hasta abril de 2019. En este lapso, se recolectaron aproximadamente 110 estrellas de mar recolectadas al azar en la zona de estudio. Estos especímenes fueron transportados cuidadosamente al laboratorio utilizando neveras portátiles con un sistema de intercambio de hielo y sal, garantizando así las condiciones óptimas para su preservación y análisis subsiguientes.

Adicionalmente, como parte del enriquecimiento de datos para este estudio, se incluyeron 9 organismos recolectados en el mes de abril de 2022.

## Gabinete

Todos los especímenes capturados fueron resguardados en condiciones óptimas en un frigorífico y, posteriormente, se procedió a su descongelación y procesamiento.

Para obtener datos precisos y relevantes, se realizaron medidas morfométricas detalladas, centrándose particularmente en el tamaño de los brazos de las estrellas de mar. Estos brazos se abrieron cuidadosamente a lo largo del surco ambulacral mediante el uso de pinzas de disección especializadas, lo que permitió un acceso meticuloso al par de gónadas de cada organismo.

Una vez obtenidas las muestras de las gónadas, estas se dispusieron en portaobjetos mediante un procedimiento de "splash". Posteriormente, se llevaron a cabo observaciones microscópicas a 4x y 10x de magnificación. Estas observaciones detalladas resultaron fundamentales para la asignación precisa del sexo de los organismos estudiados.

### Índice gonadosomático (IGS)

El índice gonadosomático o gonadal (IGS) es uno de los índices cuantitativos más utilizados para caracterizar la actividad reproductiva, centrándose en el desarrollo gonadal y el ciclo reproductivo de los organismos estudiados. En este contexto, se encuentra una estrecha relación entre este indicador y los cambios que se producen en las gónadas, así como la excreción de productos sexuales. Su utilidad radica en la capacidad de evaluar el desarrollo gonadal a lo largo del tiempo, lo que proporciona información valiosa para determinar la temporada de desove (Carrasco-Montiel, 1984; Rodríguez-Gutiérrez, 1992).

$$IGS = \frac{\text{Peso total de la gónadas}}{\text{Peso evicerado}} * 100$$

El IGS se fundamenta en el aumento de tamaño de las gónadas a medida que se acerca el momento de la puesta o desove, dependiendo en gran medida de la etapa de desarrollo del ovocito (King, 1995; Granados-Lorencio, 2002). El peso gonadal se relaciona directamente con los procesos fisiológicos que son responsables de la reproducción y la supervivencia de los organismos. Sin embargo, es importante destacar que, al igual que otros aspectos de la biología, este índice está sujeto a influencias ambientales que deben ser cuidadosamente consideradas al momento de su aplicación (Salgado-Ugarte, 1995; Salgado-Ugarte et al., 2005).

### Factor de condición relativo (Kr)

Dado que el peso corporal reflejaba procesos fisiológicos, en su esencia describía el bienestar de los organismos, estando principalmente relacionado con su crecimiento y/o madurez sexual. En consecuencia, la disminución de la condición se atribuía a la reducción de las reservas corporales durante el período de maduración de las gónadas (Granado-Lorencio, 2002; Pérez-Olivares, 2014).

$$Kr = \frac{Pe}{aL^b}$$

## RESULTADOS

### *Pentaceraster cumingi*

El análisis del IGS reveló que los valores más bajos se registraron en agosto y septiembre de 2018, con una indeterminación en agosto. Sin embargo, en marzo de 2019 se observó un aumento significativo en las hembras, con una media de 3.485. En cuanto a los machos, los valores más bajos se encontraron en septiembre de 2018 y los más altos en abril de 2019, con una media de 3.485 (Fig. 1).

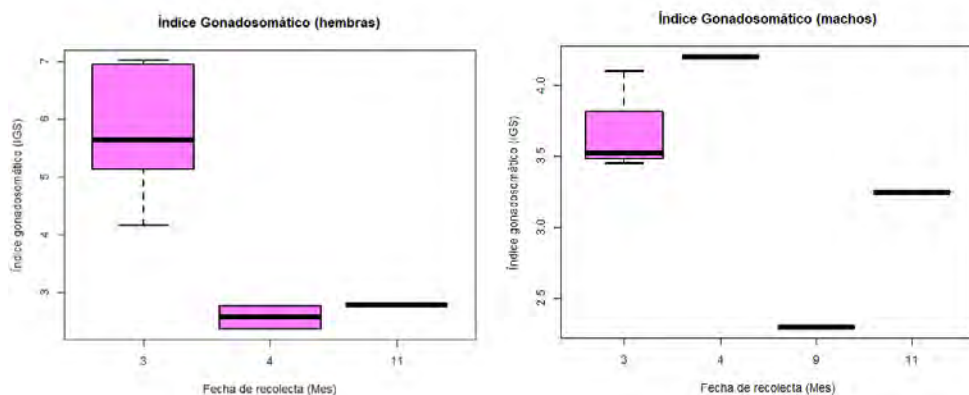


Figura 1. Índice gonadosomático de *Pentaceraster cumingi* (hembras y machos).

En relación al factor de condición relativa ( $K_r$ ), las hembras mantuvieron valores constantes a lo largo de los muestreos, con picos por encima de la condición teórica en noviembre de 2018 y abril de 2019 (Fig. 2). En contraste, los machos experimentaron variaciones, con valores altos en septiembre de 2019 y disminuciones en noviembre y marzo de 2019, seguidos por un aumento nuevamente por encima de la condición teórica en abril (Figura 3).

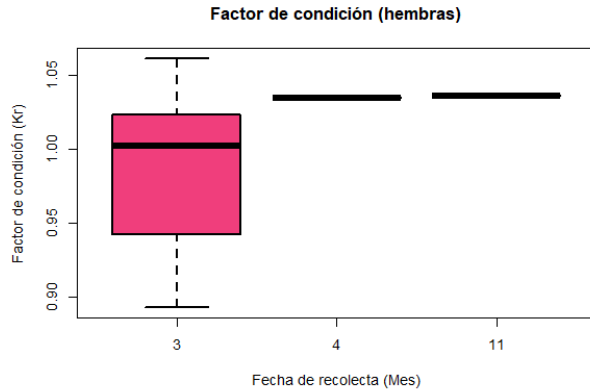


Figura 2. Factor de condición relativa ( $K_r$ ) de *Pentaceraster cumingi* (hembras).

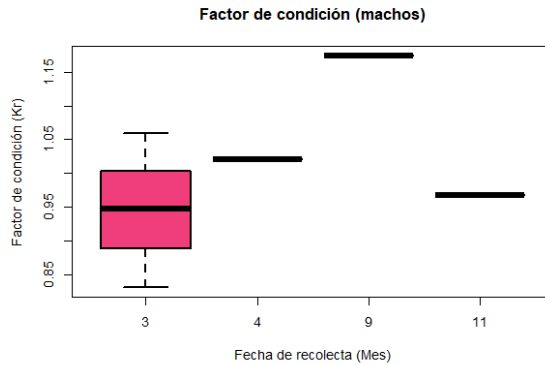


Figura 3. Factor de condición relativa ( $K_r$ ) de *Pentaceraster cumingi* (machos).

### *Phataria unifascialis*

Los resultados del IGS indicaron que los valores más bajos se presentaron en agosto y septiembre de 2018, con una indeterminación en agosto. Hubo un aumento en octubre de 2018, con una media de 1.9608 para machos e indeterminados. Las hembras mostraron el valor más bajo en marzo de 2019 y el más alto en abril del mismo año, con una media de 1.7943. En cuanto a los machos, el valor más bajo y más alto se encontró en octubre de 2018, con una media de 2.605 (Fig. 4).

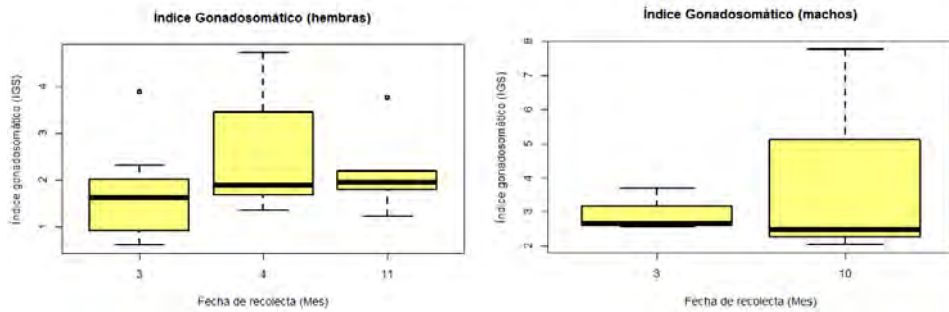


Figura 4. Índice gonadosomático de *Phataria unifascialis* (hembras y machos).

En lo que respecta al factor de condición relativa ( $Kr$ ), las hembras mantuvieron valores constantes a lo largo de los muestreos, con picos por encima de la condición teórica en noviembre de 2018 y abril de 2019 (Fig. 5). En contraste, los machos experimentaron un comportamiento diferente, con valores altos en septiembre de 2019, seguidos de disminuciones en noviembre y marzo de 2019, y un aumento nuevamente por encima de la condición teórica en abril (Fig. 6).

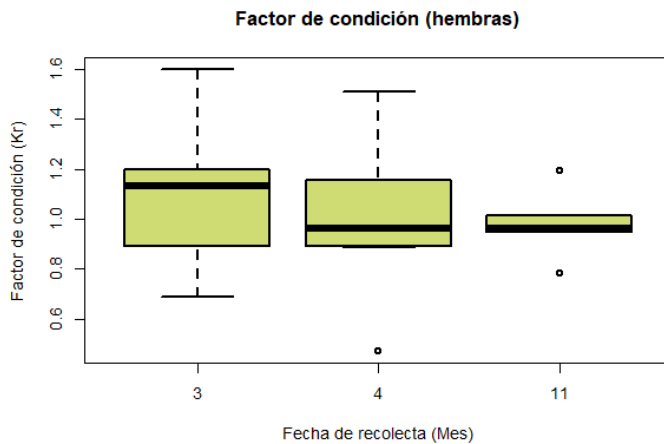


Figura 5. Factor de condición relativa ( $Kr$ ) de *Phataria unifascialis* (hembras).



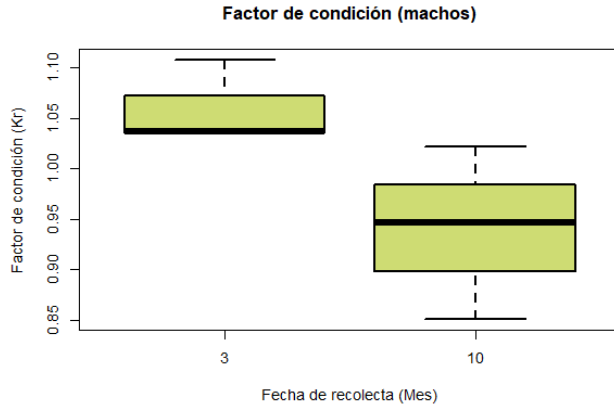


Figura 6. Factor de condición relativa ( $K_r$ ) de *Phataria unifascialis* (machos).

### *Pharia pyramidata*

El análisis del IGS reveló que el valor más bajo se registró en abril de 2022, mientras que el más alto ocurrió en agosto de un año indeterminado, con una media de 6.4059. Para las hembras, el valor más bajo se encontró en abril de 2022 y el más alto en noviembre de 2019, con una media de 8.2723. En cuanto a los machos, el valor más bajo fue en abril de 2022 y el más alto en abril de 2019, con una media de 3.947 (Fig. 7).

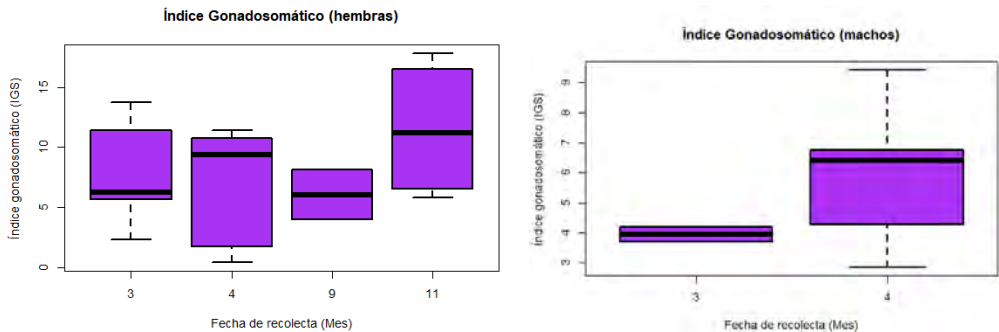


Figura 7. Índice gonadosomático de *Pharia pyramidata* (hembras y machos).

En cuanto al factor de condición relativa ( $Kr$ ) de las hembras, se observaron variaciones a lo largo de los muestreos. Los valores más altos se registraron en septiembre de 2018, indicando una buena condición, seguidos por los valores más bajos en noviembre debido a una mala condición. En marzo y abril de 2019, los valores tendieron hacia la condición teórica ideal (Fig. 8).

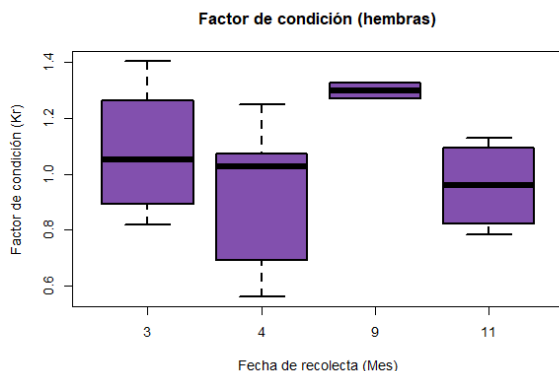


Figura 8. Factor de condición relativa ( $Kr$ ) de *Pharia pyramidata* (hembras).

Los machos, por otro lado, presentaron un comportamiento diferente, con valores medianamente altos en marzo de 2019 debido a la recolección de solo 2 individuos en buena condición. Sin embargo, en abril hubo una disminución en el índice (Fig. 9).

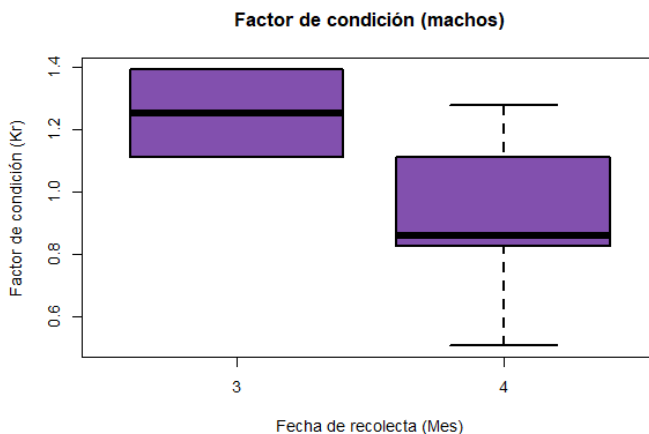


Figura 9. Factor de condición relativa ( $Kr$ ) de *Pharia pyramidata* (machos).

## DISCUSIÓN

### Índice Gonadosomático (IGS)

Los resultados del IGS para *Pharia pyramidata* en este estudio concuerdan con las investigaciones previas realizadas por (Sánchez-Villalobos, 2012; Martínez-García 2010). Los hallazgos sugieren que *Pharia pyramidata* presenta un ciclo reproductivo anual, con individuos maduros durante la temporada cálida y desove al comienzo de la temporada fría. La variación en los valores del IGS a lo largo del año refleja las diferentes etapas del ciclo reproductivo, como la madurez, el desarrollo y la reabsorción de las gónadas. Estos patrones estacionales están en consonancia con las condiciones climáticas de la Bahía de La Paz, donde se llevó a cabo este estudio.

En cuanto a *Phataria unifascialis*, los resultados obtenidos en la población de Puerto Ángel, Oaxaca, también son coherentes con investigaciones previas realizadas por Herrera-Escalante (2005). Indican que *Phataria unifascialis* presenta un ciclo reproductivo continuo, sin una estacionalidad clara relacionada con la temperatura del agua. Los valores del IGS y la distribución de las diferentes fases del ciclo reproductivo sugieren que estas poblaciones pueden reproducirse en varias etapas a lo largo del año.

Para *Pentaceraster cumingi*, se observaron patrones similares a los de *Pharia pyramidata* y *Phataria unifascialis* en términos de IGS. Los valores más altos se registraron durante las etapas de madurez y desarrollo, mientras que las etapas de postdesove y reabsorción de las gónadas se asociaron con valores más bajos del IGS. Estos hallazgos son coherentes con la literatura existente sobre la reproducción de estas especies.

### Factor de condición

El factor de condición de las especies estudiadas también se relaciona con el ciclo reproductivo. Los resultados corroboran la observación común de que, durante la estación de desarrollo, la condición somática tiende a ser pobre debido a la inversión de energía en el desarrollo de las gónadas. Esta disminución

en la condición se ha atribuido a una reducción de las reservas corporales durante la maduración de las gónadas, como se menciona en el trabajo de Salgado-Ugarte (2005).

En el caso de *Pharia pyramidata*, se observa una disminución en la condición somática durante la etapa de desarrollo, lo que concuerda con la literatura. Por otro lado, en los meses de marzo a abril, el factor de condición relativa aumentó, indicando una mejor condición de los organismos debido a la abundancia de alimento después de la etapa de desarrollo.

En *Phataria unifascialis*, se registró un comportamiento similar en el factor de condición durante la etapa de desarrollo, reflejando una disminución en la condición somática. Sin embargo, debido a su ciclo reproductivo continuo, las etapas de reproducción pueden superponerse, lo que influye en la variabilidad en la condición somática.

En *Pentaceraster cumingi*, se observará un patrón similar en los valores del factor de condición en relación con el ciclo reproductivo, con valores más bajos durante las etapas de desarrollo y reabsorción de las gónadas. Estos resultados respaldan la noción de que el factor de condición es un indicador importante del estado de salud de los organismos durante su ciclo reproductivo.

## CONCLUSIONES

Este estudio del índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición en estrellas de mar en Puerto Ángel, Oaxaca, México, proporcionó información valiosa sobre el comportamiento reproductivo y la condición somática de tres especies de estrellas de mar: *Pentaceraster cumingi*, *Phataria unifascialis* y *Pharia pyramidata*.

Los resultados resaltan la importancia de considerar el ciclo reproductivo y el estado de condición somática al estudiar estas especies de estrellas de mar. Además, se confirma la influencia negativa de la madurez gonadal en la condición somática de los individuos, lo que sugiere que el proceso reproductivo puede tener un impacto significativo en la salud general de estas especies. Estos

hallazgos contribuyen al entendimiento de la biología reproductiva de las estrellas de mar en el Golfo de Tehuantepec y tienen implicaciones para su manejo y conservación. Además, se resalta la importancia de continuar investigando para comprender mejor la dinámica reproductiva y la salud de estas especies en el contexto de un entorno cambiante.

## Agradecimientos

En particular, extendemos nuestro agradecimiento a los doctores Isaias Hazarmabeth Salgado-Ugarte y Verónica Mitsui Saito-Quezada por su inestimable asesoría, consejos y apoyo fundamental en la realización de este proyecto. De igual manera queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todos los miembros del equipo de laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM por su colaboración y apoyo incansable.

En el transcurso de la ejecución de las actividades que se exponen en este trabajo, se contó con respaldo de la Carrera de Biología de la FES Zaragoza y de la DGAPA a través del programa PAPIIME proyectos PE207417, PE209120 y PE204822

## REFERENCIAS

- Benítez-Villalobos, F. (2000). Comunidad de equinodermos asociados a la zona arrecifal Puerto Escondido, Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar, Oaxaca, México. 38pp.
- Benítez-Villalobos, F., E. Castillo-Lorenzano y G.S. Gonzáles-Espinosa. (2008). Listado taxonómico de los equinodermos (Echinodermata: Asteroidea y Echinoidea) de la costa de Oaxaca en el Pacífico sur mexicano. *Biología Tropical*. 56(3): 75-81. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i3.27080>
- Carrasco-Montiel M. B. (1984). Biología reproductiva de la mojarra *Aequidensis rivulatus* (Gunther, 1859) Cichlidae. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 79pp.

- Caso, M.E., A. Laguarda-Figueras, F.A. Solís-Marín, A.S. Ortega y A.L.G. Durán. (1996). Contribución al conocimiento de la Ecología de las comunidades de equinodermos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología - UNAM*, 22(1): 101-119.
- Castillo-Cabrera M. (2023). Aspectos biológicos-pesqueros y diversidad de la Ictiofauna proveniente de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México. 13pp.
- Cintra-Buenrostro C.E., H. Reyes-Bonilla y M. D. Herrero-Pérezrul (2004). Oceanographic conditions and diversity of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in the Gulf of California, México. *Biología Tropical*. 53(3): 254-261. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44919815015>
- Granado-Lorencio C. (2002). *Ecología de peces*. Editorial Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 353 pp.
- Herrera-Escalante, T. (2005). Dinámica poblacional y reproducción de la estrella de mar *Phataria unifascialis* (GRAY 1840) (Echinodermata: Asteroidea) en Pichilingue, Bahía de la Paz, BCS México. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional: 80 pp.
- King, M. (1995). *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books, Oxford. 341pp.
- López-Pérez R., Z. R. Bastida, M. S. García-Madriral, L. N. Barrientos, H.A. Torres, M. A. Montoya, V.F. Benítez y H. J. Meraz. (2012). ¿Cuánto sabemos de la diversidad de la fauna marina y costera de Oaxaca? (ed). Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Yucatán. Editorial Recursos Acuáticos Costeros del Suroeste, pp: 435-449
- Martínez-García M. (2010). Patrones reproductivos de *Pharia pyramidatus* (Gray, 1840) (Echinodermata: Asteroidea) en Isla Montosa, Pacífico tropical mexicano. Tesis de licenciatura, Universidad del mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México. 43 pp.

- Palma-Ruiz, A. (2003). Determinación de las especies depredadoras de coral presentes en los arrecifes coralinos del Parque Nacional Huatulco, Oaxaca: un estudio de campo y gabinete. *Tesis de Licenciatura*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Pérez-Olivares, I. (2014). Biología reproductiva de algunas especies de la familia Carangidae y Haemulidae de importancia para la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca México. Tesis de licenciatura, UNAM, FES Zaragoza. Distrito Federal, México. 46pp.
- Rodríguez-Gutiérrez M. (1992). *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces*. México, D.F. AGT Editor. 79pp.
- Saito-Quezada V. M. (2018). Aspectos Biológico-Pesquero de los Gasterópodos *Hexaplex princeps* (Broderip, 1833) y *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1815) de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de Doctorado, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México: 230 pp.
- Salgado-Ugarte I.H. (1995). Nonparametric methods for fisheries data analysis and their application in conjunction with other statistical techniques to study biological data of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* in Tokyo Bay. Tesis de doctorado en Biociencia Acuática desarrollada en el Departamento de Pesquerías, Facultad de Agricultura de la Universidad de Tokio, Japón, 389 pp.
- Salgado-Ugarte I.H. y V.M. Saito-Quezada. (2020). *Métodos Cuantitativos Computarizados para Biología Pesquera*. DGAPA y FES Zaragoza, UNAM, México: 314 pp.
- Salgado-Ugarte I.H., J.L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza. (2005). *Métodos actualizados para el análisis de datos biológicos-pesqueros*. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y DGAPA, UNAM, México: 235 pp.
- Sánchez Villalobos E. E. (2012) Dinámica poblacional y ciclo reproductivo de *Pharia pyramidatus* (Gray, 1840) (ECHINODERMATA: ASTEROIDEA) en la Bahía

de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional: 42-48pp.

Sarmiento-Náfate S., L. A. Gil y C. Labastida. (2006). Aspectos biológicos pesqueros de la lisa (*Mugil cephalus*) en el sistema lagunar Huave, Estado de Oaxaca. Resúmenes III Foro Científico de Pesca Ribereña, Puerto Vallarta, Jal. México. Instituto Nacional de la Pesca.





# Fisiología digestiva de alevines de pacú *Piaractus mesopotamicus* criados en estanques

## Digestive physiology of pacu fry *Piaractus mesopotamicus* raised in ponds

Mercedes Noemí Alvarenga, Yamila Eliana Rodríguez,  
Analía Verónica Fernández-Giménez

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC),  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN),  
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP),  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).  
Funes 3350. CC1260. 7600 Mar del Plata.  
Argentina

Analía V. Fernández Gimenez   fgimenez@mdp.edu.ar

Palabras clave |  
Enzimas digestivas,  
pacú  
*Piaractus*  
*mesopotamicus*,  
alevines,  
acuicultura

**RESUMEN** | El estudio de la fisiología digestiva de los peces, es de suma importancia para poder comprender sus capacidades funcionales y sus necesidades fisiológicas; las primeras etapas de crecimiento y desarrollo son determinantes para la obtención de resultados óptimos en la piscicultura. A su vez, el estudio de la actividad enzimática digestiva en etapas tempranas permite verificar varios indicadores de interés productivo (tasa de crecimiento, digestibilidad, tasa de eficiencia proteica, etc.) a través de los análisis zootécnicos, histoquímicos y el análisis del desempeño enzimológico. El objetivo del trabajo fue determinar la actividad específica de lipasas y proteinasas ácidas y alcalinas en la etapa de pre-cría de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) desde los 34 días post-eclosión (DPE) hasta los 62 DPE, criados en estanques excavados en tierra. Se muestrearon 5 alevines de cada DPE, definiéndose los siguientes estadios: I (34 DPE), II (43 DPE), III (50 DPE) y IV (62 DPE). Se determinaron las actividades de lipasas y de proteinasas ácidas y alcalinas en el tubo digestivo de los alevines. En el presente trabajo se observó que en el estadio IV existe un aumento significativo en la actividad de las lipasas y las proteinasas alcalinas. Mientras que con respecto a la actividad de

proteinasas ácidas se verificó que el estadio III presentó una mayor actividad que el I, mientras que la actividad del estadio IV es significativamente superior a todas las tallas previas. En conclusión, podemos decir que existe un aumento gradual de actividad enzimática digestiva de los alevines de pacú a medida que aumentan los DPE. Los resultados obtenidos permitirán profundizar en el conocimiento sobre la fisiología digestiva de los alevines de pacú y así mejorar su nutrición durante la etapa de pre-cría.

Keywords |  
Digestive enzymes,  
pacú  
*Piaractus*  
*mesopotamicus*,  
fry,  
aquaculture

**ABSTRACT** | The study of fish digestive physiology is crucial for understanding their functional capabilities and physiological requirements. Furthermore, the early stages of growth and development play a determining role in achieving optimal results in fish farming. The evaluation of digestive enzyme activities during these early stages allows the assessment of several productivity indicators (such as growth rate, digestibility, and protein efficiency) through zootechnical, histochemical, and enzymatic performance analyses. The aim of this work was to determine the specific activity of lipases, acid, and alkaline proteinases in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fry from 34 days post-hatching (DPH) to 62 DPH, reared in earthen ponds. For each DPH, five fry were sampled, defining the following stages: I (34 DPH), II (43 DPH), III (50 DPH), and IV (62 DPH). The activity of lipases and acid and alkaline proteinases was quantified in their digestive tract. The study revealed a significant increase in the activity of lipases and alkaline proteinases in stage IV. Concerning acid proteinases, it was observed that stage III displayed higher activity than stage I, while the activity of stage IV was the highest. In conclusion, there is a gradual increase in digestive enzyme activity in pacu fry as the number of days post-hatching progresses. The obtained results will contribute to a better understanding of the digestive physiology of pacu fry and, consequently, enhance their nutritional status during the pre-breeding stage.

## INTRODUCCIÓN

La producción acuícola aumenta constantemente en todo el mundo y representa una mayor proporción en la provisión de pescado en los últimos años;

la producción de pescado destinado al consumo humano representa, aproximadamente, 20 kg per cápita por año (Lopes, 2023).

A pesar de su alto potencial productivo, Argentina se encuentra en un periodo inicial en la actividad acuícola. Desde 2015 hasta el 2020, Argentina, registró un declive en la producción, registrando unas 2.600 toneladas aproximadamente (Carciofi, 2022). En la actualidad, la producción acuicola nacional volvió a tener un significativo crecimiento, respecto a los años anteriores, declarando una producción total de 6.022 toneladas en el 2022 y con perspectivas de terminar el año 2023 con más de 8.000 toneladas (datos no publicados).

El pacú (*Piaractus mesopotamicus*), es un pez omnívoro nativo de ríos, llanuras aluviales, lagos y bosques inundables de América del Sur, es un teleosteo que pertenece a la familia Serrasalminidae, del orden Characiforme (Abimorad y Carneiro 2007). Es una de las especies de mayor crecimiento en la producción acuícola argentina; considerado uno de los mejores candidatos para áreas tropicales y sub-tropicales, debido a las altas tasas de crecimiento (puede alcanzar más de 1 kg en 1 año), la buena calidad de carne y la aceptación del consumidor. Se ha logrado su reproducción y desarrollo en cautiverio, debido a las sencillas técnicas operarias de manejo que requiere. Se pueden destacar en el pacú, sus características de rusticidad y adaptabilidad a los diferentes sistemas productivos.

El estudio de la fisiología digestiva de los peces, es una herramienta muy útil, para comprender sus capacidades funcionales sistémicas y sus necesidades nutricionales; lo que nos permite poder garantizar el bienestar y el crecimiento óptimo en condiciones de acuicultura (Mendes de Freitas, 2015). A pesar de los avances obtenidos en varios estudios sobre la fisiología digestiva en larvas existe una escasa información en alevines de pacú.

El presente trabajo, se llevó cabo con el objetivo de determinar la actividad enzimática digestiva del pacú en etapa de pre-cría, esta información permitirá conocer su capacidad digestiva y así contribuir a mejorar los protocolos de alimentación y la nutrición de los alevines.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de alevines de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) fueron provistas por el INTA IPAF NEA, Formosa. Los peces se pescaron utilizando una red de arrastre. Se muestrearon 23 alevines desde los 34 días post eclosión (DPE) hasta los 62 DPE. Las mismas se conservaron a  $-20$  grados hasta su traslado y utilización en laboratorios de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

Se muestrearon peces a diferentes días de post eclosión (DPE) y se definieron diferentes estadios: I (34 DPE;  $n=8$ ;  $0,06 \pm 0,010$  g), II (43 DPE;  $n=5$ ;  $1,85 \pm 1,332$  g), III (50 DPE;  $n=5$ ;  $1,52 \pm 0,137$  g), IV (62 DPE;  $n=5$ ;  $4,47 \pm 1,132$  g). A excepción del estadio I, los alevines de pacú fueron pesados y luego eviscerados, mediante la técnica de disección donde se extrajo el tubo digestivo (estómago, ciegos pilóricos e intestino) para la preparación de los homogenatos. Debido al pequeño tamaño de los peces del estadio I, no se separó el tubo digestivo, y se realizaron homogenatos de tronco entero (sin cabeza ni aleta caudal). Estas muestras fueron sometidas a un proceso de homogenización utilizando buffer Tris-HCl 50 mM pH 7,5; en relación 1:2 (p/v). Luego fueron centrifugadas a 10.000 RPM a  $4^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos, el sobrenadante (homogenato) se mantuvo a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta el momento del análisis de la actividad enzimática.

Para la evaluación de lipasas se utilizó una dilución 1:12 para las muestras I y II; y una dilución 1:25 en las muestras III y IV; el sustrato utilizado  $\beta$ -naftil caprilato, con buffer Tris-HCL 200 mM pH 8; procedimiento descrito por Nolasco-Soria et al. (2018).

Por otro lado, para medir la actividad de proteinasas alcalinas se utilizó la técnica descrita por García-Carreño (1992), utilizando como sustrato una solución de azocaseína (0,5% p/v) en buffer Tris-HCL 50 mM pH 9. De la misma manera para determinar la actividad total de proteinasas ácidas, se realizó el procedimiento descrito por Anson (1938), el sustrato utilizado fue hemoglobina (0,5% p/v) en buffer Glicina-HCl 200 mM, pH 2.

Luego se determinó la concentración de proteína soluble a través del método Bradford (1976). La actividad enzimática total se definió como Unidades de

Actividad (UA) por mL, donde UA corresponde al cambio de Abs<sub>366</sub> por min. La actividad enzimática específica fue estimada como UA por mg de proteína. Todos los datos fueron comparados mediante ANOVA de una vía, seguido de la prueba de comparación múltiple de Tukey. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando  $p < 0,05$ . Para el análisis se utilizó el Software Libre R (Core Team R Development, 2011).

## RESULTADOS

Tanto en la actividad de las proteínas alcalinas como ácidas se observó un aumento gradual de la actividad específica a media que se incrementan los días post eclosión de los alevines (Tabla 1). El aumento de la actividad es significativamente evidente y observado con mayor claridad en la actividad específica de las proteínas ácidas (Tabla 1).

Mediante el análisis estadístico utilizado se verificó que el estadio IV tiene una actividad de proteínas alcalinas significativamente mayor que el estadio I. También que la actividad específica de proteínas ácidas del estadio III tiene mayor actividad que el estadio I, mientras que la actividad enzimática específica del estadio IV es significativamente superior que todos los estadios previos. (tabla 1).

En la medición de lipasas se puede observar un aumento de actividad enzimática en relación con el crecimiento y desarrollo de los alevines (Tabla 1). Según el análisis estadístico, se determinó que el estadio IV tiene una actividad de lipasas significativamente mayor que el estadio I.

**Tabla 1.** Actividad específica de proteínas alcalinas, ácidas y lipasas de alevines de pacú *Piaractus mesopotamicus*

Estadio	PROTEINASAS ALCALINAS	PROTEINASAS ACIDAS	LIPASAS
I	0,02 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,015 <sup>a</sup>	6,15 ± 2,900 <sup>a</sup>
II	0,06 ± 0,041 <sup>ab</sup>	0,08 ± 0,024 <sup>ab</sup>	18,13 ± 8,070 <sup>ab</sup>
III	0,04 ± 0,019 <sup>ab</sup>	0,11 ± 0,025 <sup>b</sup>	10,03 ± 3,830 <sup>ab</sup>
IV	0,06 ± 0,023 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,065 <sup>c</sup>	22,12 ± 9,698 <sup>b</sup>

Los valores se expresan como la media ± desvío estándar. <sup>a-c</sup> superíndices diferentes dentro de una misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

## DISCUSIÓN

Varios autores han investigado la actividad de las enzimas digestivas a lo largo del desarrollo ontogénico de los peces, para mayor comprensión de los mecanismos de digestión (Galaviz *et al.*, 2011; Mendes de Freitas, 2015). A pesar de los avances obtenidos en estudios sobre el desarrollo y la actividad enzimática en larvas de pacú, es escasa la información de la actividad enzimática digestiva en alevines.

Se observó un aumento de la actividad enzimática digestiva a medida que avanza el desarrollo de los alevines de pacú, coincidiendo con Mendes de Freitas (2015) quien validó el aumento de actividad enzimática durante el desarrollo larval de la misma especie, determinando que las larvas de pacú presentan un sistema digestivo funcional desde el inicio de la alimentación exógena, 4 DPE, sólo para la digestión de alimentos vivos y que son capaces de aprovechar y digerir alimentos formulados a partir de los 16 DPE, momento el que se produce un aumento significativo de actividad enzimática de proteinasas ácidas indicando la presencia de un estómago funcional.

Los resultados obtenidos y analizados en este trabajo demuestran que la actividad enzimática digestiva se incrementa conforme avanza el desarrollo de los alevines, aportando de esta manera conocimientos científicos novedosos con respecto a la capacidad digestiva del pacú (*Piaractus mesopotamicus*) en etapas de pre-cría.

## CONCLUSIONES

La actividad de proteinasas y lipasas de los alevines de pacú criados en estanques excavados en tierra presenta un aumento gradual entre los estadios muestreados; observando una diferencia de actividad enzimática digestiva significativamente mayor en el estadio IV.

## Agradecimientos

Agradecemos al Ministerio de Ciencia y Tecnología y a la Agencia Nacional de

Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, por la financiación del presente trabajo a través el proyecto PICT 1851/2020 y EXA 1075/22.

## REFERENCIAS

- Abimorad, E. G., & Carneiro, D. J. (2007). Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles—fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Nutrition*, 13(1), 1-9
- Anson, M. L (1938) The estimation of pepsin, trypsin, papain, and cathepsin with hemoglobin. *The Journal of general physiology*, vol. 22, no 1, p. 79.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 2(1-2), 248-254.
- Carciofi, I., Maspi, N., Mendoza, F., Pablo, J., & Lynch, G. (2022). Economías regionales en Argentina: sistemas integrados de producción acuícola-vegetal y cultivos arroceros.
- Core Team R Development (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Freitas, Thiago Mendes de. Capacidade digestiva durante a ontogenia de larvas de pacu *Piaractus mesopotamicus*. 2015. iii, 150 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Centro de Aquicultura de Jaboticabal, 2015.
- Galaviz, M. A., García-Gasca, A., Drawbridge, M., Álvarez-González, C. A., & López, L. M. (2011). Ontogeny of the digestive tract and enzymatic activity in white seabass, *Atractoscion nobilis*, larvae. *Aquaculture*, 318(1-2), 162-168.
- García-Carreño, F. L. (1992). The digestive proteases of langostilla (*Pleuroncodes planipes*, *Decapoda*): their partial characterization, and the effect of feed on

their composition. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 03(3), 575-578.

Lazo, J. P.; Darias, M. J.; Gisbert, E. (2011). Ontogeny of the digestive tract. *Larval fish nutrition*, p. 3-46.

Lopes, I. G., & de Freitas, T. M. (2023). Fish consumption in Brazil: State of the art and effects of the COVID-19 pandemic. *quaculture*, 739615.

Oliveira, K. R. B., Peres, H., Oliva-Teles, A., Marconi, J. N., Paulino, R. R., Diógenes, A. F., & Viegas, E. M. M. (2021). Maize distillers dried grains with solubles alter dietary digestibility and improve intestine health of pacu, *Piaractus mesopotamicus* juveniles. *British Journal of Nutrition*, 125(12), 1331-1343.

Tesser, M.B. (2002) Desenvolvimento do trato digestório e crescimento de larvas de pacú, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) em sistemas de co-alimentação com náuplios de *Artemia* e dieta microencapsulada. 59p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal 2002.

Tesser, M.B.; Flores-Quintana, C.I.; Carniero, D.J.; Pizauro Júnior, J.M.; Portella, M.C. (2006) Suplementação de enzimas exógenas em dieta microparticulada para larvicultura do pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.35, p.2211- 2218.





# Edad y crecimiento del ronco blanco *Haemulon flaviguttatum*, (Gill 1872) en Puerto Ángel, Oaxaca

Age and growth of the yellow-spotted grunt *Haemulon flaviguttatum*, (Gill 1872) in Puerto Ángel, Oaxaca

Valeria Vazquez-Navarro, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte,  
Verónica Mitsui Saito-Quezada

Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera, Facultad de Estudios Superiores  
Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Iztapalapa, Ciudad de México.

Valeria Vazquez-Navarro   [valeriavazqueznav@gmail.com](mailto:valeriavazqueznav@gmail.com)

Palabras clave |  
Edad y crecimiento,  
otolitos,  
funciones de  
crecimiento,  
retro-cálculo,  
regresión no lineal.

RESUMEN | El ronco blanco *Haemulon flaviguttatum* es una de las especies más comercializadas por la pesca artesanal de Puerto Ángel-Oaxaca, por lo que se vuelve vital obtener información acerca de su dinámica poblacional para conocer los efectos de su captura para la sostenibilidad del recurso. Para esto se registraron datos de 60 organismos capturados en los meses de agosto del 2022 a abril del 2023; el intervalo de tallas fue de: 13,2 a 25,3 cm de longitud patrón (LP) y el peso total abarcó un intervalo de 95 a 465 gr. Los estimadores de densidad por kernel mostraron para los machos una distribución bimodal con una moda principal a los 18,48 cm de LP y multimodal para las hembras con una moda dominante a los 18,40 de LP. La proporción Machos:Hembras no fue significativamente diferente de 1:1 y el crecimiento relativo fue hipoalométrico para hembras y machos, teniendo estos últimos una tendencia a la isometría. La relación cuerpo (LP) - estructura dura (radio total del otolito) mostró que el crecimiento en longitud de los organismos es directamente proporcional a la de sus otolitos, lo que indica que estas estructuras son útiles para

estimar la edad y modelar el crecimiento. La interpretación de las marcas en los otolitos permitió establecer 4 grupos de edad. Las ecuaciones de crecimiento de von Bertalanffy fueron:

$$\text{machos } L_t = 14,57 (1 - \exp[-0,33\{t + 0,33\}]);$$

$$\text{hembras } L_t = 18,33 (1 - \exp[-0,23\{t + 2,35\}])$$

La estimación y modelación del crecimiento indicaron que el tipo de pesca realizado en la zona de estudio les permite llegar a una edad adulta y posiblemente reproductiva, sin embargo, el número de organismos capturados va en descenso.

#### Keywords |

Age and growth,  
otoliths,  
growth functions,  
retrocalculation,  
nonlinear regression.

**ABSTRACT** The yellow spotted grunt *Haemulon flaviguttatum* is one of the most commercialized species from the Puerto Ángel Oaxaca artisanal fishery, hence is vital to obtain information on its population dynamics to know their catch effect over this resource sustainability. For this reason 60 organisms caught from August 2022 to April 2023 were registered. Size range was 13.2 to 25.3 cm of body standard length (SL) and total weight ranged from 95 to 465 gr. Kernel density estimators showed a bimodal distribution for males with a principal mode of 18.48 SL and multimodal for females with a dominant mode at 18.40 cm SL. Male-Female ratio was not significantly different from 1:1 and relative growth was hipoallometric both for females and males, with the later tending towards isometry. Body (SL) – hard part structure (otolith radius) showed that individual length growth is directly proportional to their otoliths, indicating that these hard parts are useful to age estimation and growth modelling. Otolith marks allowed to stablish for age groups, and back-calculation lead to the following expressions:

$$\text{Males } L_t = 14.57 (1 - \exp[-0.33\{t + 0.33\}]);$$

$$\text{Females } L_t = 18.33 (1 - \exp[-0.23\{t + 2.35\}])$$

Age estimation and growth modelling suggested that the fishing type performed at the study site permits organisms to attain an adult potentially reproductive stage. However, the number of individuals in the catch is decreasing.

## INTRODUCCIÓN

En México, Puerto Ángel es una localidad situada en la costa del Océano Pacífico y perteneciente al estado de Oaxaca. Es un sitio de suma importancia para la pesca artesanal ya que el interior de la bahía ofrece un buen fondeadero para embarcaciones menores, con profundidades entre 7,4 y 13 m., con buena protección para los vientos. Dentro de la bahía existe un pequeño muelle rígido de concreto balizado con 48 m. de atraque por ambas bandas y 21 m. en la cabeza del muelle: con disposición marginal, de 50 m. de longitud, 15 m. de ancho, 5 m. de altura y 5 m. de profundidad (FAO, 2005). Además, es una importante fuente de alimento, ingresos y medios para la población ya que el pescado sigue siendo uno de los productos alimenticios más comercializados debido a que más de la mitad del valor de las exportaciones pesqueras procede de países en desarrollo (FAO, 2016).

Entre los aspectos biológicos más importantes que se requieren para conseguir un manejo adecuado de una población de peces está la determinación de la edad y el crecimiento. Estas características son determinantes para la propuesta de tamaños de malla de las redes que garanticen la captura de animales adultos con crecimiento lento y evitar el retirar de la población a los organismos antes de que se reproduzcan (Saito-Quezada, 2004). Los parámetros determinados a partir de la edad (mortalidad, crecimiento, supervivencia, etc.) permiten determinar los cambios en la población, causados por las tasas de explotación a las que se ven sujetos los recursos por las actividades de extracción (Gómez-Márquez *et al.*, 2016). Tanto la edad como el crecimiento están estrechamente relacionados entre sí. A medida que el pez envejece, crece, pero después de alcanzar un tamaño particular, el crecimiento se detiene (Espino *et al.*, 2008). La edad da una idea sobre la madurez sexual, el tiempo de desove, el tamaño de captura, la tasa de crecimiento y la longevidad. El conocimiento de todos estos parámetros es esencial en la producción pesquera; estas características son determinantes para la propuesta de tamaños de malla de las redes que garanticen la captura de peces adultos con crecimiento lento y evitar retirar de la población a los organismos antes de que se reproduzcan (Espino *et al.*, 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se analizaron los datos de 60 organismos de *Haemulon flaviguttatum* (35 machos, 22 hembras y 3 indeterminados), provenientes de la pesca artesanal de Puerto Ángel-Oaxaca, del 25 de agosto del 2022 al 02 de abril del 2023.



Figura 1. Proceso de colecta y preservación de organismos

Una vez recolectados los organismos, se registraron los siguientes datos: longitud total (cm), longitud patrón (cm), longitud furcal (cm), altura (cm) y peso total (gr); posteriormente se realizó la disección, se extrajeron y se separaron los órganos para determinar el sexo, estadio de madurez gonádica y el peso de las gónadas (gr), hígado (gr), tracto digestivo (gr), estómago (gr), contenido estomacal (gr), peso eviscerado (gr) y la longitud del tracto digestivo (cm).

Se extrajeron los otolitos para los cuales se realizó un corte en "L" en la parte superior del cráneo con la finalidad de dejar expuesto el cerebro, posteriormente se retiró la masa encefálica y se extrajeron ambos otolitos localizados en los oídos internos dentro del cráneo. Una vez extraídos los otolitos, se lavaron para retirar las membranas y tejido restante, se secaron con papel absorbente y se almacenaron.

Por último para la estimación de la edad se midió el largo y ancho de cada otolito sumergiéndolos con el lado cóncavo hacia arriba en una caja Petri con agua para poder observarlos con una cámara adaptada al estereoscopio, la cual fue conectada a una computadora para registrar las medidas en un programa

de procesamiento de imagen (ImageJ), después para la interpretación de anillos de crecimiento; cada otolito se sumergió por 3 min en peróxido de hidrogeno y una vez transcurrido el tiempo, se enjuagaron y nuevamente se colocaron en una caja Petri con agua, con el lado cóncavo hacia arriba, y se examinaron microscópicamente bajo luz transmitida sobre un fondo transparente para identificar y medir el número de marcas de crecimiento; cabe resaltar que todas las imágenes fueron tomadas con una escala de referencia para que las medidas fueran concisas. Una vez preparados los otolitos, se registraron en el programa ImageJ las siguientes medidas: distancia del foco ( $df$ ), radios de cada uno de los anillos de crecimiento existentes ( $r_i$ ) a partir de foco ( $f$ ), radio total ( $R_t$ ) e incremento marginal ( $r_+$ ) (Figura 2), este paso fue realizado por dos personas para evitar sesgos en los resultados.

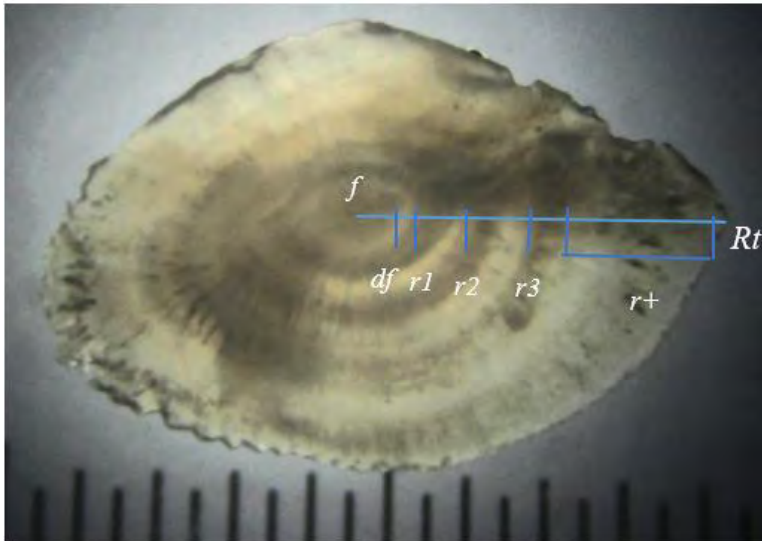


Figura 2. Medición e interpretación de anillos de crecimiento del otolito de *Haemulon flaviguttatum*

Los análisis estadísticos presentados se realizaron mediante las rutinas computarizadas de Salgado-Ugarte *et al.*, (1993, 1995, 1997); Salgado-Ugarte (1995, 2002); Salgado-Ugarte *et al.*, (2000, 2002, 2005, 2020) y Mosqueda-Romo y Salgado-Ugarte (2011), para el paquete estadístico Stata versión 13.

## RESULTADOS

El intervalo de tallas de los 60 organismos capturados fue de: 13,2 a 25,3 cm de longitud patrón y el peso total abarcó un intervalo de 95 a 465 gr. Para verificar de manera total y por muestreo la proporción de machos y hembras, se calculó el valor de chi-cuadrada, se puede concluir que únicamente en el mes de agosto del 2022 no se acepta la  $H_0$ , es decir que la proporción no es 1:1, debido a que el valor calculado de  $\chi^2$  (10,24) es mayor que el de tablas (3,84); esto también lo confirma el valor de  $P$  (0,00) que es menor al valor de Alpha (0,1). A diferencia de los demás meses en los que sí existe una proporción 1:1.

El análisis poblacional de frecuencia de tallas realizado mediante estimadores de densidad por kernel (EDK's), mostró que en los machos existe una distribución asimétrica bimodal con una moda principal de 18,48 (Figura 3); en cuanto a las hembras, se observa una distribución asimétrica con sesgo positivo multimodal, con una moda principal de 18,40 (Figura 4) . En comparación, los machos alcanzaron una mayor talla que las hembras por poca diferencia.

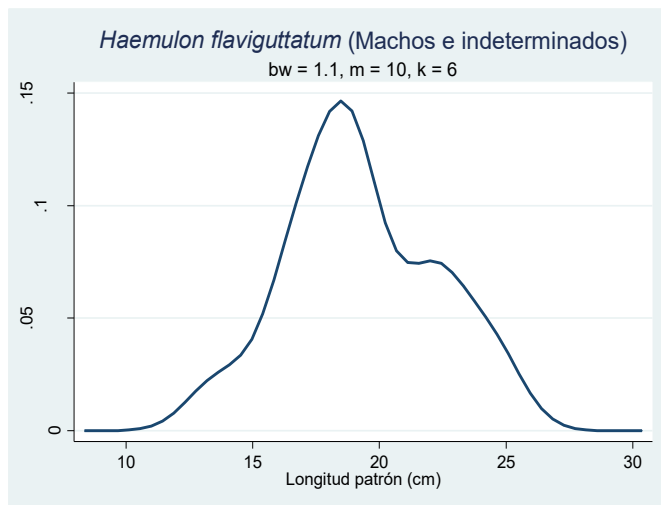


Figura 3. EDK's Machos e indeterminados

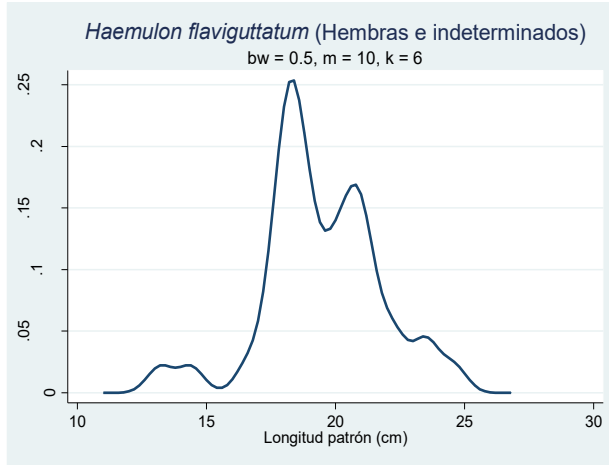


Figura 4. EDK's Hembras e indeterminados

La relación peso-longitud permitió determinar el tipo de crecimiento de ambos sexos de la especie con base en el coeficiente alométrico, el cual indicó que el crecimiento para hembras es hipoalométrico debido a que el valor es menor a 3 ( $b = 1,779137$ ,  $inter. = 1,30039 - 2,257884$ ) (Figura 5), mientras que el crecimiento de los machos (Figura 6) es hipoalométrico con tendencia a ser isométrico ( $b = 2,661058$ ,  $inter. = 2,287701 - 3,034415$ ).

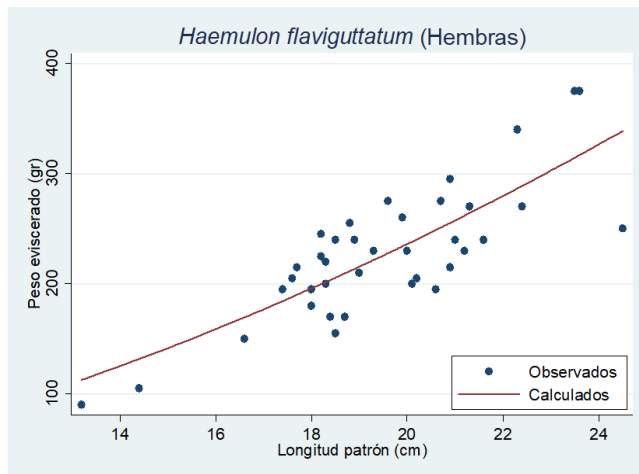


Figura 5. Relación alométrica entre el peso eviscerado y la longitud patrón en hembras

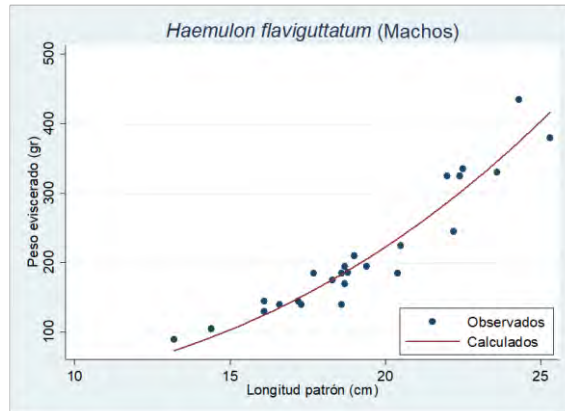


Figura 6. Relación alométrica entre el peso eviscerado y la longitud patrón en machos

En total se extrajeron e interpretaron 120 otolitos (60 pares) de los especímenes recolectados, de los cuales 11 se descartaron debido a que fueron dañados en la extracción o los anillos no se mostraban con claridad. Aproximadamente el 90% de los otolitos mostraron claramente los anillos de crecimiento.

El análisis de regresión entre el radio total del otolito contra la longitud patrón del pez, presentó tanto en hembras como en machos una tendencia lineal entre las variables con un coeficiente de determinación de  $r^2 = 0,99$   $P < 0,000$ .

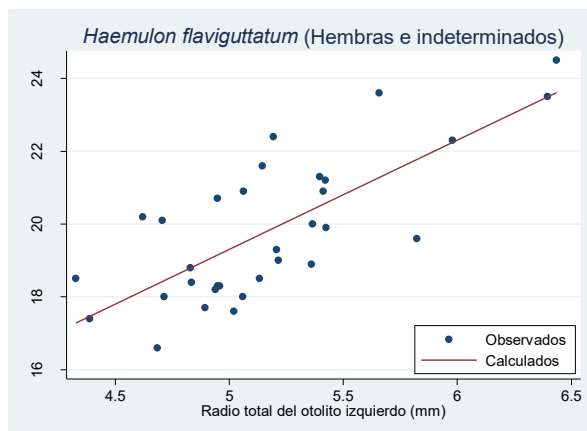


Figura 7. Relación entre el radio total del otolito izquierdo y la longitud patrón en hembras



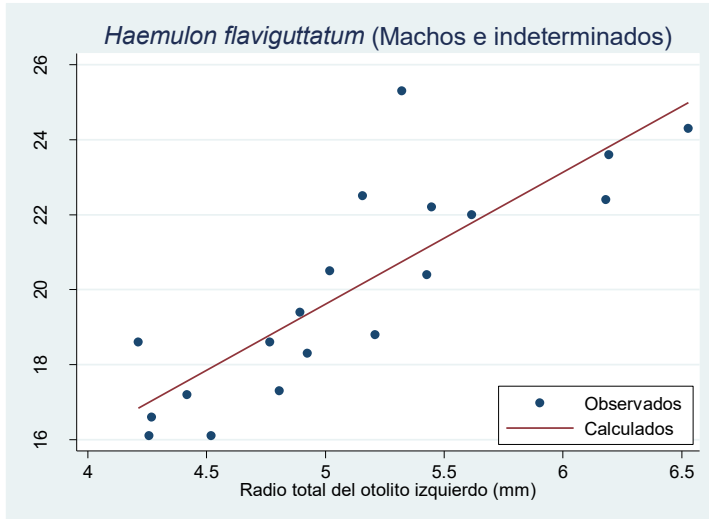


Figura 8. Relación entre el radio total del otolito izquierdo y la longitud patrón en machos

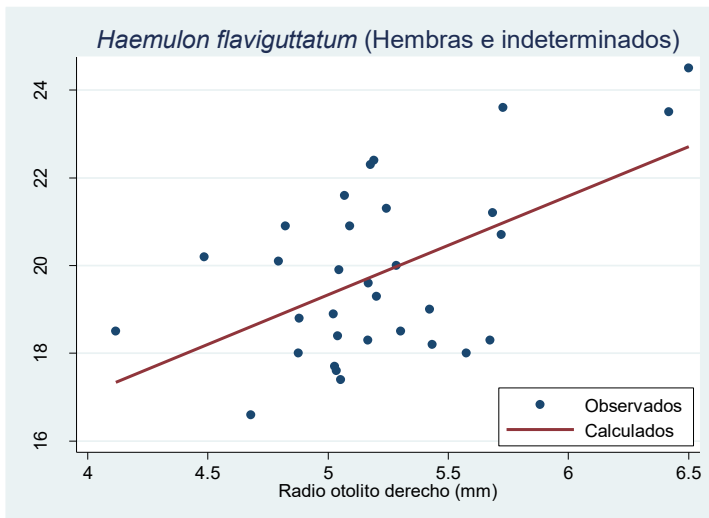


Figura 9. Relación entre el radio total del otolito derecho y la longitud patrón en hembras

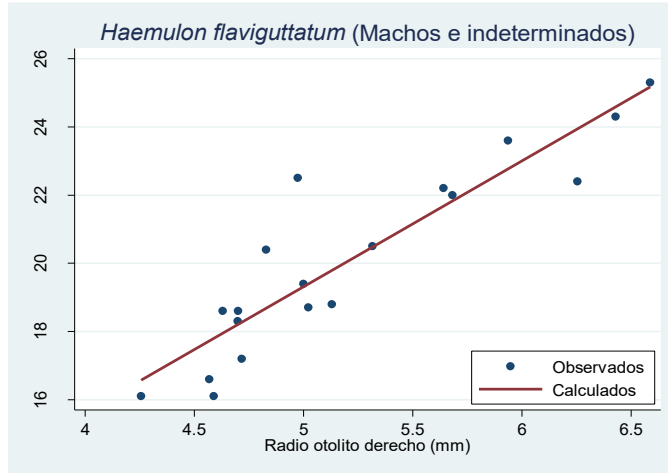


Figura 10. Relación entre el radio total del otolito derecho y la longitud patrón en machos

En estos gráficos se observa el comportamiento de los datos de la longitud patrón con el número de anillos para la población de hembras y machos, y se puede apreciar como el número de anillos de los otolitos aumenta conforme a la longitud del organismo, es decir que el organismo aumenta proporcionalmente en longitud y en edad.

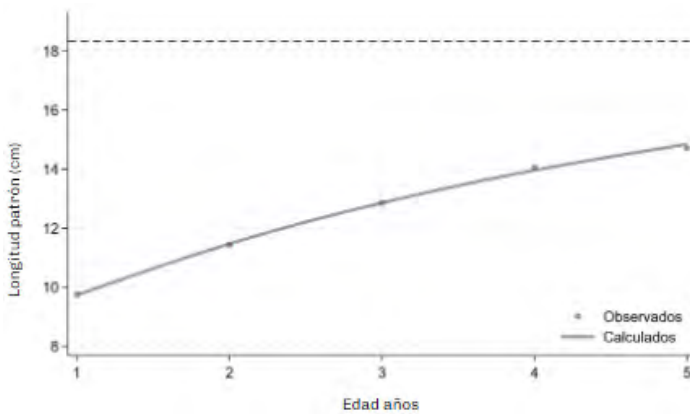


Figura 11. Función de crecimiento de von Bertalanffy ponderada a partir de las medias retrocalculadas para hembras

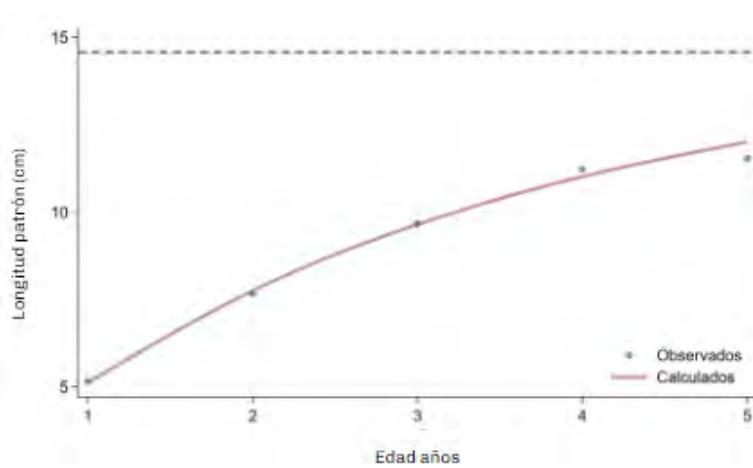


Figura 12. Función de crecimiento de von Bertalanffy ponderada a partir de las medias retrocalculadas para machos.

## DICUSIÓN

A través de los EDK's se observó la distribución de tallas de la población de *Haemulon flaviguttatum* capturada mediante la pesca artesanal, las modas principales fueron de 18,40 para hembras y 18,48 para machos, lo cual quiere decir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre sexos y esto a su vez puede indicar que la especie no presenta dimorfismo sexual respecto al tamaño.

El análisis peso eviscerado-longitud patrón dio como resultado un crecimiento hipoalométrico para ambos sexos de la población, lo cual indica que el organismo crece más en longitud que en peso.

Tanto el otolito izquierdo como el derecho presentaron una relación directa lineal con el tamaño de los organismos de ambos sexos; esto confirma lo encontrado en la literatura y lo registrado en los trabajos más recientes de *Haemulon flaviguttatum* por Salgado-Cruz (2014), Gatica-Martínez (2016) y Espino-

Barr et al. (2004), los cuales mencionan que el otolito es una estructura adecuada para determinar la edad del organismo a través de los anillos de crecimiento.

Se identificaron 4 grupos de edad para la población de *Haemulon flaviguttatum*, siendo el máximo de 5 anillos. La mayoría de los organismos capturados en el muestreo se encuentra entre los 3 y 4 anillos igual a lo que reporta Salgado-Cruz (2014) y Gatica-Martínez (2016).

## CONCLUSIONES

El otolito izquierdo y derecho coincidieron en el número de anillos de crecimiento y a través de la interpretación de estas marcas se establecieron 4 grupos de edad para la población de *Haemulon flaviguttatum*, lo que muestra que existe una relación entre el incremento de la formación de los anillos con la longitud patrón del pez. Además, la estimación y modelación del crecimiento indicaron que el tipo de pesca realizado en la zona de estudio les permite llegar a una edad adulta y posiblemente reproductiva. No obstante, de acuerdo con la apreciación de los pescadores locales, el número de organismos capturados va en descenso.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue elaborado gracias a la asesoría y apoyo del Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte y de la Dra. Verónica Mitsui Saito-Quezada. De igual manera agradecemos a todos los miembros del Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza perteneciente a la UNAM por su colaboración.

Durante la ejecución de este trabajo se contó con el respaldo de la Carrera de biología de la FES Zaragoza y de la DGAPA a través del programa PAPIME con los proyectos: PE207417, PE209120 y PE204822.

## REFERENCIAS

FAO, 2005. Guía del Administrador Pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación. Documento Técnico de Pesca. FAO, Roma: 240pp.

- FAO, 2016. El estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Contribución a la Seguridad Alimentaria y la Nutrición para todos. FAO, Roma: 224pp.
- Gómez-Márquez, J.L; A. Cervantes-Sandoval, I.H. Salgado-Ugarte, B. Peña-Mendoza, Ma. Del C. Alejo-Plata, J.L. Gúzman-Santiago, E. Mendoza-Vallejo & C. Machuca-Rodríguez. 2016. Temas Selectos de Biología Pesquera. DGAPA, FES Zaragoza, UNAM: 344pp.
- Saito-Quezada, V.M., 2004. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México: 87pp.
- Salgado-Ugarte I. H., J. L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza, 2005. *Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros*. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y DGAPA, UNAM, México: 235pp.
- Salgado-Ugarte, I.H., 2017. *Métodos Estadísticos Exploratorios y Confrmatorios para Análisis de Datos. Un Enfoque Biométrico*. D.G.A.P.A y F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. [Open Access]. ISBN: 978-607-02-4231-1. Libro en formato ePub disponible en <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/29>
- Salgado-Ugarte IH y VM Saito-Quezada, 2020. *Métodos Cuantitativos Computarizados para Biología Pesquera*. DGAPA y FES Zaragoza, UNAM, México: 487pp.



# Diagnóstico molecular de diferentes sublinajes clonales de cáncer transmisible

## Molecular diagnosis of different clonal sublineages of transmissible cancer

Andrea Estrella Arias-Díaz<sup>1,3</sup>, Martín Santamarina<sup>1,2,3</sup>,  
Seila Díaz<sup>1</sup>, Ana Pequeño-Valtierra<sup>1,3</sup>,  
Jorge Rodríguez-Castro<sup>1,3</sup>, José M C Tubio<sup>1,2,3</sup>,  
Alicia L Bruzos<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Genomas y Enfermedad, Centro Singular de Investigación en Medicina Molecular y Enfermedades Crónicas (CIMUS), Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.

<sup>2</sup>Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Sanitarias de Santiago de Compostela (IDIS), Santiago de Compostela, España.

Correspondencia Andrea Estrella Arias-Díaz   [andreaestrella.arias@gmail.com](mailto:andreaestrella.arias@gmail.com)

Palabras clave |  
Cáncer transmisible,  
bivalvos,  
berberecho,  
PCR,  
*Cerastoderma edule*

**RESUMEN** | El cáncer transmisible ocurre por la transferencia de forma directa de células cancerosas de un individuo que son capaces de infectar a otros, saliendo al medio marino y formando un nuevo tumor en el huésped. Este tipo de cáncer puede encontrarse en perros, en demonios de Tasmania y en bivalvos. En estos últimos, surgió al menos nueve veces de manera independiente, por lo que existen diferentes linajes. Es similar al proceso de metástasis, principal causa de muerte en humanos que padecen cáncer, de modo que resulta interesante estudiar los cánceres contagiosos para entender la metástasis. En este trabajo, se diseñaron dos pruebas diagnósticas basadas en la PCR utilizando como marcadores genéticos variantes estructurales somáticas de tipo delección para detectar dos sublinajes de cáncer transmisible en berberechos *C. edule*. Se analizó una cohorte de 100 individuos sanos y 62 cancerosos de diversas líneas que apoyan el potencial de estas dos delecciones como marcadores moleculares.

Finalmente, las pruebas fueron validadas secuenciando los amplicones diagnóstico de las PCR para comprobar que los cebadores acotan e hibridan en la secuencia acertada.

### Keywords |

Transmissible cancer,  
bivalves,  
cockle,  
PCR,  
*Cerastoderma edule*

**ABSTRACT** | Transmissible cancer occurs by the direct transfer of cancer cells from one individual to others by being released into the marine environment and forming a new tumor in the host. This type of cancer can be found in dogs, Tasmanian devils, and bivalves. Regarding bivalves, it arose at least nine times independently, so there are different lineages. Cancer transmission is similar to the process of metastasis, the main cause of cancer deaths in humans, so it is interesting to study transmissible cancers to understand metastasis. In this study, two diagnostic PCR-based tests were designed using somatic structural variants, in specific deletions, as genetic markers to detect two sublineages of transmissible cancer in *C. edule* cockles. A cohort of 100 healthy and 62 cancerous individuals from different lineages was analyzed, which supports the potential of these two deletions as molecular markers. Finally, the tests were validated by sequencing the diagnostic amplicons of the PCRs to verify that the primers bind and hybridize to the correct sequence.

## INTRODUCCIÓN

El cáncer es un conjunto de enfermedades caracterizadas por la proliferación descontrolada de las células debido a la adquisición de determinadas mutaciones en el genoma. Adquirir estas mutaciones lleva a las células a una división descontrolada, aumentando rápidamente en número y formando una acumulación en masa que recibe el nombre de tumor primario. Se trata de un proceso evolutivo, ya que las células adquieren mutaciones que resultan en un fenotipo y la selección favorece la proliferación de aquellas que mejor se adaptan al microambiente (Stratton *et al.*, 2009).

Una célula cancerosa puede adquirir la capacidad de desligarse del tumor, viajar por el torrente sanguíneo o linfa e invadir tejidos próximos. La formación de

un tumor secundario diseminado recibe el nombre de metástasis y es la principal causa de muerte en los pacientes con cáncer (Lambert et al., 2017). Sin embargo, la biología y procesos genéticos que se esconden tras este proceso tan perjudicial no son bien conocidos. Desafortunadamente, no se encontraron mutaciones específicas que actuaran como conductoras para la metástasis (Strachan y Read, 2019). Uno de los principales objetivos de la investigación en cáncer actualmente es comprender mejor el fenómeno de la metástasis (Massagué et al., 2017; Martínez-Jiménez F et al., 2023).

El cáncer transmisible en bivalvos se define como la transferencia de forma directa de células cancerosas de un individuo que son capaces de infectar a otros saliendo al medio marino y formando un nuevo tumor en el huésped. Se trata de una transmisión horizontal porque ocurre entre individuos de la misma especie, sin ser necesaria ninguna relación parental. El cáncer transmisible recuerda a la metástasis porque son procesos similares que tienen como base la diseminación de células de un tejido a otro, donde proliferan formando un segundo tumor con la misma base genética que el primero, ya que la célula a partir de la cual prolifera el resto es de la misma línea clonal que las células del primer tumor (Ostrander et al., 2016).

En la actualidad, se conoce la existencia del cáncer transmisible (Figura 1) en los demonios de Tasmania (DFTD, *Devil Facial Tumor Disease*), que estaba llevando a la especie a la extinción (Kwon et al., 2018) aunque recientes estudios mostraron la transición a endemismo (Patton et al., 2020); en perros (CTVT, *Canine Transmissible Venereal Tumor*), donde el linaje se estima que tiene en torno a 8.000 años de antigüedad (Baez-Ortega et al., 2019); y en bivalvos, entre ellos almejas, mejillones y berberechos (Bruzos et al., 2023; Hart et al., 2023) Metzger et al., 2015; Metzger et al., 2016; Michnowska et al., 2022; Yonemitsu et al., 2019; Shazina et al., 2021; Garcia-Souto et al., 2022; Yonemitsu et al., 2023). Mientras que el cáncer transmisible en mamíferos parece que se produce de manera aislada, en especies marinas es un fenómeno más extendido (Metzger et al., 2015).



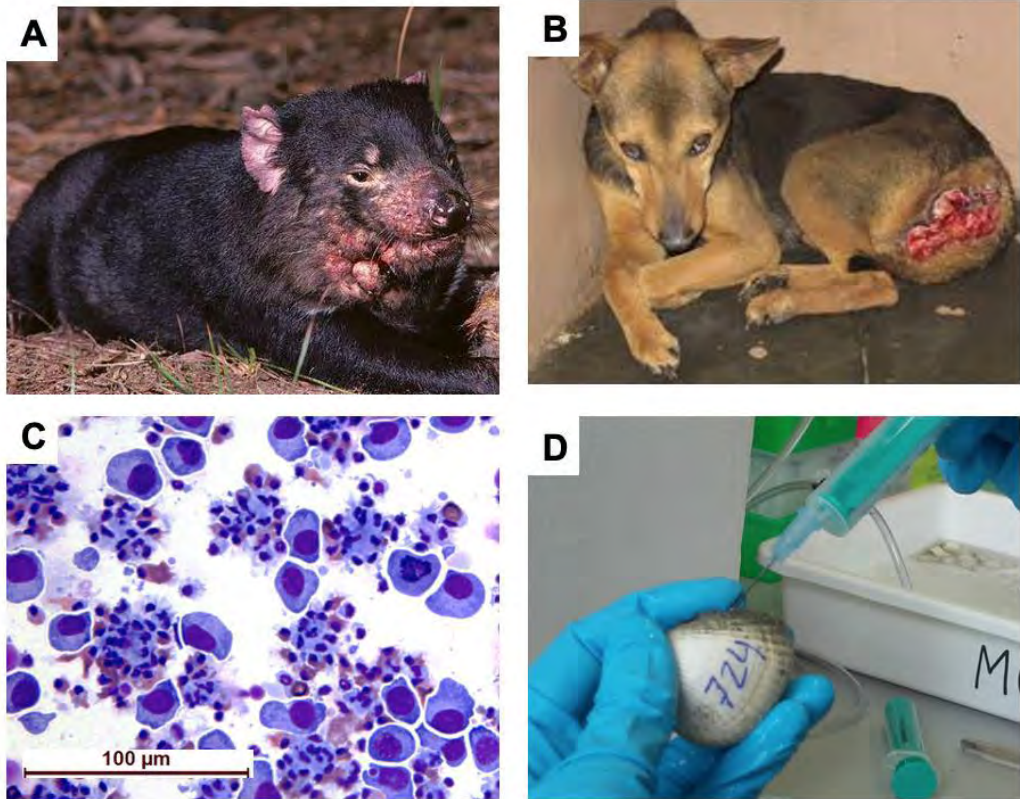


Figura 1. Cánceres transmisibles clonales. (A) El DFTD es un tumor facial transmisible que afecta a los demonios de Tasmania y se propaga por rasguños y mordiscos. (B) El CTVT es un tumor genital que afecta a los perros y se transmite por el coito. (C) La neoplasia hémica es un tumor de la hemolinfa de muchos bivalvos. (D) Extracción de hemolinfa de un berberecho *Cerastoderma edule* afectado por neoplasia hémica.

La etiología, es decir, la causa de aparición de la neoplasia hémica en berberechos, no se aclaró hasta el año 2016 (Metzger et al., 2016). Diversas hipótesis fueron propuestas, desde contaminantes que inducían el cáncer (combustibles o organoclorados) hasta el estrés o la presencia de un agente infeccioso vírico (Romalde et al., 2017). En la especie humana, se conoce que algunos cánceres como el de cuello uterino son causados por virus o bien que los pacientes afectados por el virus de la inmunodeficiencia humana tienen una mayor prevalencia de algunos tipos de cáncer en comparación con personas sanas. Sin embargo, en estos casos el virus propicia el desarrollo de un tumor a

partir de una célula propia del individuo. Metzger y colaboradores descartaron en 2015 la hipótesis del origen viral cuando estudian el genoma de las células cancerosas y las sanas de un individuo de la especie *Mya arenaria*, la almeja de Nueva Inglaterra. Encontraron que los genomas son tan diferentes que las células cancerosas y las sanas no tienen el mismo origen, es decir, esta leucemia no se desarrolla a partir de células del propio individuo, sino que ocurre una transmisión horizontal de las células cancerosas entre individuos de la misma especie (Figura 2).

La transmisión horizontal de cáncer resulta muy interesante porque puede utilizarse como modelo de estudio para entender el proceso de la metástasis y dilucidar parte del conocimiento que aún ignoramos (Dujon et al., 2020). En el estudio de cánceres no transmisibles tenemos un tiempo limitado, concretamente hasta la muerte del individuo y del propio tumor; con todo, en este caso, la principal ventaja es que podemos estudiar un cáncer que no muere con el individuo, sino que se propaga a otros. Qué genes se encuentran mutados, por qué las células abandonan el individuo, cómo invaden uno nuevo y cómo evitan las defensas del huésped son algunos de los aspectos de interés que nos podrían ayudar a comprender mejor las bases genéticas de la metástasis.

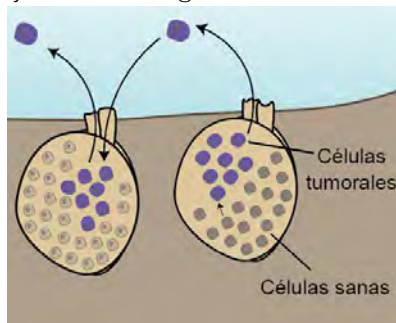


Figura 2. Cáncer transmisible en berberechos *C. edule*. Representación esquemática de la transmisión horizontal de células cancerosas entre berberechos.

Este trabajo se centró en el cáncer transmisible que padece la especie *Cerastoderma edule*, el berberecho común (Figura 1C). Teniendo en cuenta parásitos y enfermedades, esta leucemia es la segunda causa de mortalidad en la especie. Por consiguiente, en algunas rías en Galicia (España), como la ría de

Arousa o la ría de Noia, los berberechos se encuentran en un alto riesgo de contraer cáncer transmisible (Montaudouin *et al.*, 2021). El berberecho común es un modelo interesante por su abundancia, su localización en la costa atlántica europea, su tamaño pequeño y adecuado para el trabajo en el laboratorio y su ciclo vital relativamente rápido. Padecen cáncer de hemolinfa, que recibe el nombre de neoplasia hémica, descrita en la década de 60 pero no identificada como cáncer transmisible hasta el año 2015 (Metzger *et al.*, 2015).

El cáncer transmisible en berberechos surgió varias veces independientemente en la historia, de modo que existe un origen polifilético. En 2016, Metzger y colaboradores analizaron nueve microsátélites polimórficos, un gen mitocondrial y un gen nuclear *EF1a*, de 12 berberechos gallegos, 6 sanos y 6 neoplásicos. Describieron la existencia de dos linajes de cáncer, con distintas morfologías y genotipos, propagándose entre los berberechos de la ría de Noia. En 2023, Bruzos y colaboradores validaron la existencia de estos dos linajes mediante *whole genome sequencing* en muestras de hemolinfa neoplásica de 61 individuos diagnosticados con neoplasia hémica. Los orígenes independientes fueron confirmados estimando las ratios de mutaciones *nonsynonymous-to-synonymous* (*dN/dS*) en el árbol filogenético. Además, describieron la existencia de varios sublinajes. En el presente estudio, nos hemos centrado en dos de estos sublinajes, concretamente el detectado en la costa de Francia y el detectado en la costa de Inglaterra.

El análisis de variantes estructurales que caracterizan y pueden dirigir la progresión tumoral es imprescindible para el estudio de la evolución del cáncer. Dentro del contexto de la genómica del cáncer, la variación estructural somática se define como el conjunto de reordenamientos de ADN que ocurren en el genoma de la célula cancerosa pero están ausentes en el genoma de las células sanas del mismo individuo (Tubio *et al.*, 2015). La variación estructural somática incluye inversiones intracromosómicas, reordenamientos intercromosómicos, inserción de transposones y otras secuencias exógenas al genoma nuclear (como el ADN viral y el mitocondrial) así como reordenamientos que implican cambios en el número de copias (delecciones y amplificaciones o duplicaciones, generalmente superiores a 1kb) (Li *et al.*, 2020). Cada cáncer tiene un patrón de mutaciones estructurales característico heredado por las células a medida que el clon se expande y claramente distinguible del genoma de las células sanas del

individuo o del genoma de otros individuos (McGranahan *et al.*, 2017). Por tanto, el estudio de variantes estructurales permite la caracterización e identificación de las distintas líneas de cánceres (Williams *et al.*, 2019). Las variantes estructurales que fueron adquiridas pronto en la evolución del linaje neoplásico pueden ser utilizadas como marcadores genéticos útiles para el desarrollo de pruebas de diagnóstico basadas en PCR. En este trabajo, se validaron mediante PCR dos deleciones de diferentes líneas clonales de cáncer transmisible en berberecho con el objetivo de generar una prueba diagnóstica genética robusta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo de berberechos de diferentes poblaciones europeas

Entre 2016 y 2021, 6.300 berberechos fueron recogidos en 10 países de la costa atlántica europea: Portugal, España (Galicia), Francia, Reino Unido, Irlanda, Marruecos, Noruega, Dinamarca y Países Bajos (Figura 3A).

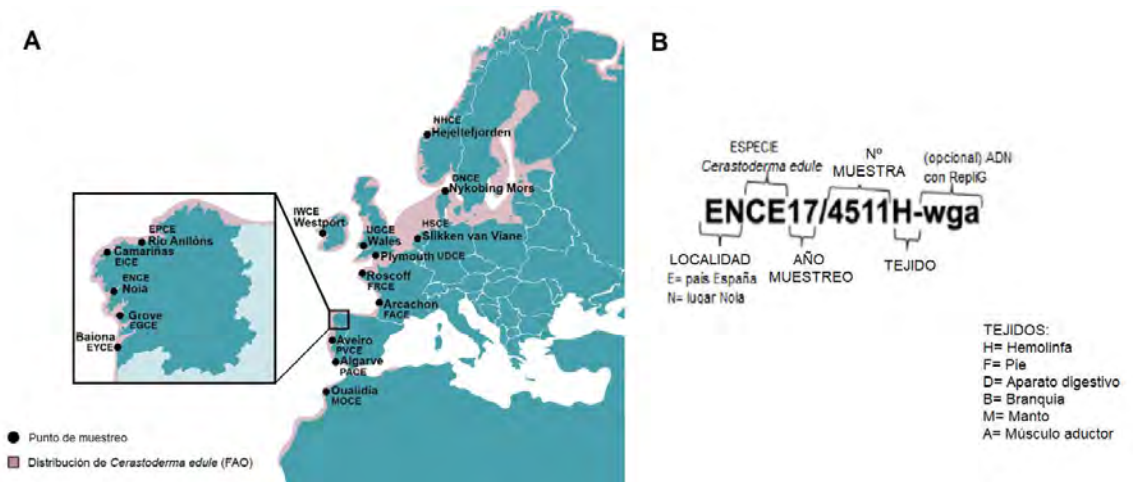


Figura 3. Localización de los puntos de muestreo y nomenclatura de las muestras. (A) Mapa de la costa atlántica europea con el rango de distribución de la especie *Cerastoderma edule* en que se identifican los diferentes puntos de toma de muestras pertenecientes a 10 países diferentes. (B) Nomenclatura utilizada para la clasificación de toma de muestras.

A cada berberecho se le hizo una extracción de 1-2 mL de hemolinfa y se procesaron varios tejidos para su diagnóstico mediante histología. En este trabajo, se empleó pie porque es un tejido con buen rendimiento en las extracciones de ADN.

### Extracción de ADN de berberechos

El ADN de las células del pie de 100 berberechos sanos fue extraído con el kit QIAamp (Qiagen) siguiendo las indicaciones del fabricante.

Para llevar a cabo la homogenización, el proceso de rotura de las células para que se viertan los ácidos nucleicos en la solución de lisis, se utilizaron métodos físicos de abrasión y compresión y métodos enzimáticos (digestión con peptidasa K y otras peptidasas de amplio espectro para eliminar proteínas como las DNAsas) combinados con altas temperaturas (56 °C).

El aislamiento y purificación se llevaron a cabo con la técnica de columnas de afinidad con membrana de sílice. A la mezcla de lisis, se añadió un tampón para mantener un pH adecuado y etanol para eliminar la capa hidratante del ADN, exponiendo los grupos fosfato para facilitar la adsorción a la membrana con carga positiva. Los ciclos de lavado y centrifugación sirven para descartar los lípidos y proteínas, que no son retenidos por la matriz (Alejos *et al.*, 2014). Posteriormente, se añadió agua libre de nucleasas para rehidratar el ADN y eluirlo con otro ciclo de centrifugación.

### Controles de calidad (concentración, pureza, integridad)

La concentración de ADN de las 100 muestras fue medida con el fluorímetro Invitrogen Qubit 4 Fluorometer empleando los reactivos Qubit dsDNA Broad Range siguiendo las especificaciones del fabricante.

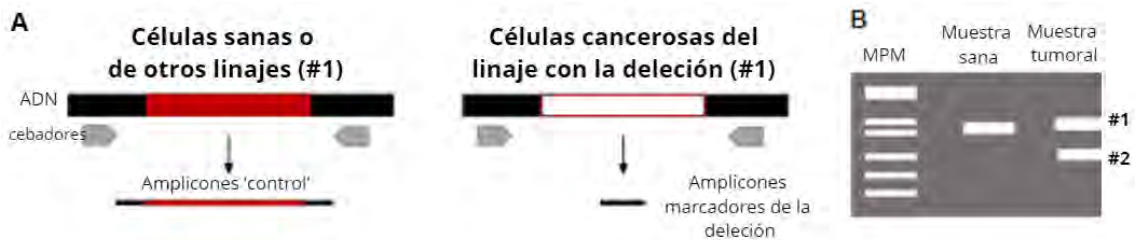
La pureza del ADN fue medida con el espectrofotómetro ThermoFisher NanoDrop One Microvolume UV-Vis. Se midió la absorbancia en la longitud de onda 255-260 nm (pico de absorción del ADN), 280 nm (pico de absorción de proteínas) y 230 nm (pico de absorción de agentes desnaturizantes comúnmente utilizados en las extracciones, como fenol o isocianato). El equipo

indica la contaminación de proteínas o sales mediante los cocientes A230/260 y A260/280.

La integridad del ADN fue examinada mediante una electroforesis automatizada en el equipo 4200 TapeStation System de Agilent siguiendo el protocolo indicado por Agilent para el análisis de ADN genómico.

### Diseño de cebadores o *primers* de los marcadores moleculares

El diseño de cebadores se realizó con la interfaz web del programa Primer 3 (Koressaar et al., 2007; Untergasser et al., 2012) siguiendo una estrategia flanqueante de la región de la deleción (Figura 4), de tal forma que en muestras sanas o con cáncer de otro sublinaje clonal se amplificará una banda control de la región de la deleción mientras que en las muestras con cáncer de la línea clonal con la deleción se amplificará una banda más pequeña de ADN.



**Figura 4.** Diseño de cebadores. (A) Representación esquemática de la amplificación según el ADN de partida. (B) Resultados esperados al correr los productos de la PCR en un gel de electroforesis. En la muestra tumoral, observamos dos bandas porque existe una mezcla de células sanas (banda #1, que coincide con la banda de la muestra sana) y de células cancerosas (banda #2).

### Amplificación por PCR y revelado mediante electroforesis en gel de agarosa

El protocolo de amplificación por PCR fue llevado a cabo en un termociclador ProFlex de Applied Biosystems. Consistió en un paso inicial de desnaturalización a 94 °C durante 30 segundos, seguido por 30 ciclos (desnaturalización 94 °C 30 segundos, unión de cebadores 60 °C 30 segundos, extensión por la polimerasa 65 °C 2 minutos) y una fase final de extensión 65 °C 10 minutos. Todas las PCR fueron realizadas en un volumen final de 25 µL que contenía 2 µL de ADN (25 ng/µL), 1 µL

de cada uno de los cebadores directo y reverso (10  $\mu\text{M}$ ), 12.5  $\mu\text{L}$  de LongAmp (medio para una PCR óptima con tampón, dNTPs, catalizadores y Taq polimerasa LongAmp) y 8.5  $\mu\text{L}$  de agua libre de nucleasas.

Los productos de la PCR fueron visualizados mediante electroforesis en un gel de agarosa al 1.5 % y TBE 1X utilizando como marcador de peso molecular 10  $\mu\text{L}$  de Thermo Scientific FastRuler High Range DNA Ladder. En la elaboración del gel se añadió SYBR Safe (Invitrogen) y se cargó 8 $\mu\text{L}$  de cada muestra con 2  $\mu\text{L}$  de tampón de carga Orange G, controles positivos y controles negativos. Los geles fueron revelados en un transiluminador UVP GelDoc-It2 (Analytikjena).

Secuenciación didesoxi automática por PCR con lectura por electroforesis capilar de las ampliaciones diagnóstico

Tratamiento enzimático con *ExoSAP-IT*

Se escogieron dos muestras con cáncer transmisible (FRCE17/701 y IWCE 191) que en la electroforesis previa tenían las bandas de neoplasia bien definidas, una de cada marcador molecular. Se añadieron 2  $\mu\text{L}$  de ExoSAP-IT a 5  $\mu\text{L}$  del producto de la PCR. Posteriormente, la mezcla se incubó 15 minutos a 37 °C y 15 minutos a 80 °C. En este paso, se eliminaron los cebadores y los nucleósidos trifosfato restantes de la PCR anterior con el fin de optimizar la reacción de secuenciación Sanger posterior, en la que es necesario un cociente nucleósidos trifosfato y didesoxinucleótidos concreta y tener los cebadores directo y reverso por separado.

Reacción de secuenciación (PCR termocíclica)

Dos PCR fueron realizadas para cada muestra, una con el cebador directo y otra con el reverso. El volumen final fue de 10  $\mu\text{L}$  que contenía 2  $\mu\text{L}$  de ADN (25 ng/ $\mu\text{L}$ ), 0.16  $\mu\text{L}$  del cebador a 10  $\mu\text{M}$ , 1  $\mu\text{L}$  de Big Dye™ Terminator v3.1 Cycle Sequencing RR-2500 (incluye polimerasa AmpliTaq FS, cofactores, desoxinucleótidos y didesoxinucleótidos), 1.5  $\mu\text{L}$  de Big Dye Buffer (tampón) y 5.34  $\mu\text{L}$  de agua libre de nucleasas. El protocolo de amplificación fue llevado a cabo en un termocilador ProFlex de Applied Biosystems. Consistió en un paso inicial de desnaturalización a 96 °C durante 1 minuto, seguido por 25 ciclos a 96 °C durante

10 segundos, 50 °C durante 5 segundos y 60 °C durante 4 minutos.

### Eliminación del exceso de fluorocromos

Antes de introducir las muestras en el secuenciador de ADN, es necesaria una limpieza de los didesoxinucleótidos marcados que no fueron utilizados en la elongación por la polimerasa en la PCR del paso anterior. Para esto, se utilizó el reactivo BIGDYE Xterminator, que contiene bolitas magnéticas con poros por los que pasan los didesoxinucleótidos, quedando retenidos dentro, pero no nuestro amplicón debido a su mayor tamaño. El protocolo fue el siguiente: se añadió 45  $\mu\text{L}$  de SAM y 10  $\mu\text{L}$  de Big Dye Xterminator al total del producto de la PCR (10  $\mu\text{L}$ ), se mezcló con vórtex (30 minutos, 1800 rpm), se centrifugó (2 minutos, 1000 x g) y se pasó el sobrenadante (50-60  $\mu\text{L}$ ) a una placa de secuenciación.

### Lectura por electroforesis capilar

El equipo SeqStudio Genetic Analyzer (Applied Biosystems by Thermo Fisher Scientific) fue utilizado para la lectura por electroforesis capilar. Para las medidas, fueron utilizados los programas LongSec y MidSec, enfocados cada uno a la lectura de fragmentos en un rango concreto de número de bases, con diferencias en el voltaje de la electroforesis y el tiempo de inyección.

### Confirmación por análisis bioinformática de la correspondencia de los amplicones marcadores con la secuencia esperada

El Software Geneious versión 2020.0.3 fue utilizado para analizar las secuencias de los amplicones francés e inglés con sendas delecciones que funcionan como marcadores. En primer lugar, las secuencias que se obtuvieron por secuenciación fueron cargadas y la reversa fue volteada 180° en horizontal con el fin de alinearla con la directa. Se comprobó en un gráfico de puntos (*genome dot plot*) la coincidencia entre las dos secuencias y se generó la secuencia consenso corrigiendo los errores evidentes basándose en la navaja de Ockham (principio de parsimonia). Posteriormente, las secuencias consenso fueron mapeadas con las regiones de interés del genoma de referencia del berbecho y se comprobó la cobertura del amplicón secuenciado en el genoma. Además, se realizó un gráfico de puntos para evidenciar las delecciones.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Delecciones somáticas para diagnosticar sublinajes de cáncer transmisible

Con el objetivo de encontrar marcadores moleculares para las líneas de cáncer transmisible que existen en berberecho, diversos tipos de variantes estructurales (VE) fueron identificadas al analizar datos de secuenciación de varios berberechos con cáncer transmisible (datos del proyecto ERC-StG SCUBA CANCERS). Un gran número de VE resultó ser variación germinal, es decir, ocurrieron en un antepasado común y están o estaban presentes en varios individuos de la población cuando se originó el cáncer. Asimismo, existen VE que son variación somática, es decir, mutaciones que ocurrieron durante la vida del cáncer transmisible (Stratton et al., 2009). Para emplear una VE como marcador de una línea de cáncer transmisible es imprescindible que la VE no se encuentre en individuos sanos de la población, es decir, es necesario que sea una mutación somática específica del sublinaje del cáncer transmisible a diagnosticar y que fuese adquirida en una fase temprana en la evolución de la línea.

En este trabajo se seleccionaron delecciones pequeñas (<3 kb) como potenciales marcadores moleculares por su facilidad para incluir en el diseño de la PCR una banda como un control positivo en todas las muestras en las que se utilice la prueba genética.

### Marcador molecular del sublinaje tumoral francés

La PCR diagnóstica de la línea tumoral francesa empleó una delección de ~1kb y amplificó dos bandas en el caso de las muestras tumorales afectadas por este sublinaje: una se correspondió con las células con la delección (~500 pb) y la otra con las células no tumorales que se encontraban en el tejido empleado (~1500 pb).

De las 62 muestras de berberechos con cáncer analizadas, solamente dos fueron diagnosticadas con la línea tumoral francesa (Figura 5), tal y como se esperaba de acuerdo con los análisis bioinformáticos previamente realizados en el proyecto. Estos berberechos positivos para la línea tumoral francesa fueron

recogidos en Francia, donde la prevalencia del cáncer transmisible es muy baja (1.5%, 9 individuos con cáncer de un total de 624 berberechos franceses analizados).

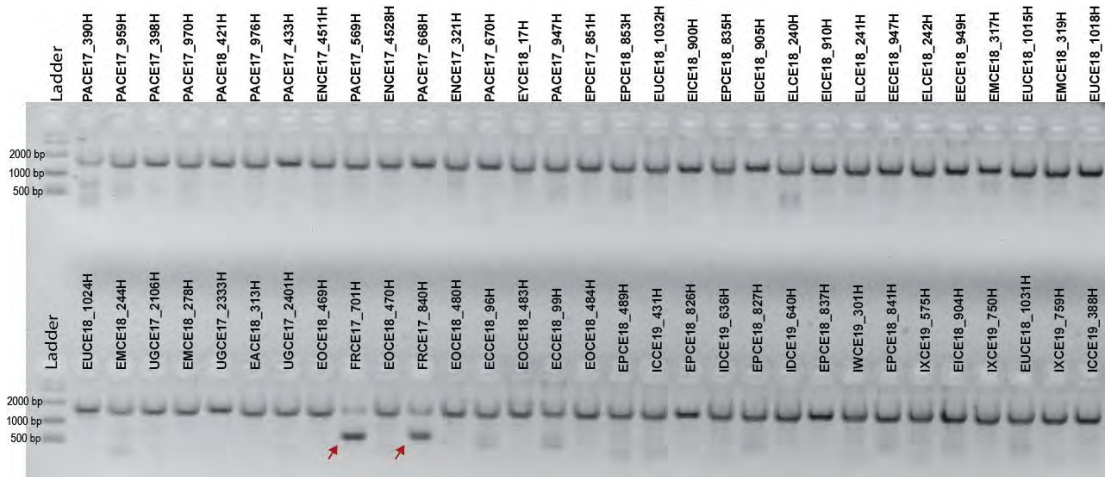


Figura 5. Diagnóstico de la línea francesa en 62 muestras de berberecho con cáncer transmisible. Gel de agarosa al 2% en el que se cargaron 8  $\mu$ l de producto de la PCR para la amplificación de la región con la delección. El primer canal se corresponde con el marcador de peso molecular. Señaladas con una flecha roja las bandas diagnóstico específicas de las muestras tumorales afectadas por la línea francesa.

En muestras sanas se esperaba que solo apareciera la banda de ~1500 pb, a menos que esta delección no fuese variación somática y, por tanto, estuviese presente en individuos sanos de la población. Este último escenario invalidaría la posibilidad de emplear esta delección para diagnosticar este sublinaje, pero en este trabajo ninguna de las 100 muestras de berberechos sanos empleados amplificó la banda de 500 pb (Figura 6), apoyando el potencial de esta delección como marcador molecular.

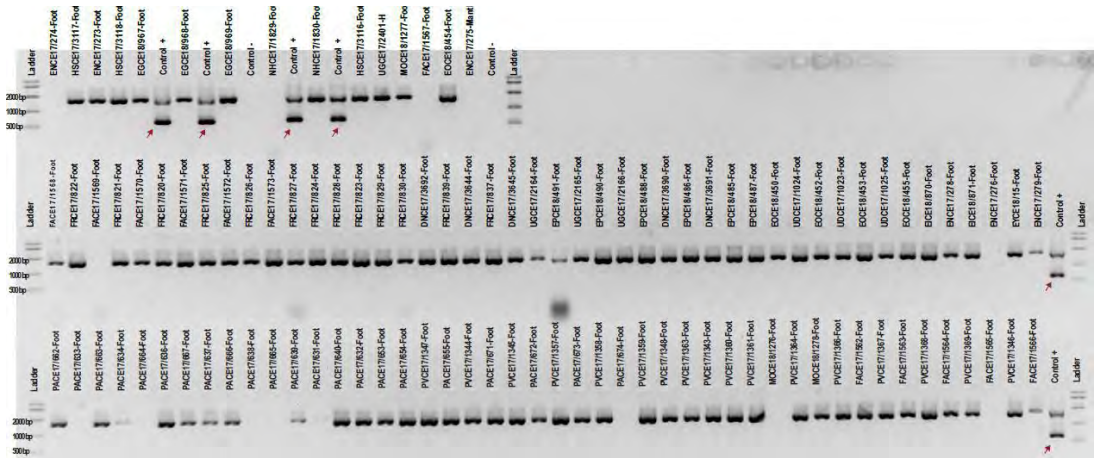


Figura 6. Análisis mediante PCR diagnóstica de la línea tumoral francesa en 100 muestras de berberechos sanos. Gel de agarosa al 2% en el que se cargaron 8 µl de producto de la PCR para la amplificación de la delección. El primer y último canal muestran los marcadores de peso molecular. Señaladas con una flecha roja las bandas diagnóstico en las muestras tumorales empleadas como controles positivos.

### Marcador molecular del sublinaje tumoral inglés

La PCR diagnóstica de la línea tumoral inglesa se centra en este caso en una delección de ~3.5 kb y, de forma similar al marcador de la línea francesa, amplifica dos bandas en el caso de muestras tumorales afectadas por esta línea y solo una banda grande en muestras sanas que no presentan la delección. Como se observa en la Figura 7, el 9.6 % de las muestras con cáncer analizadas fueron diagnosticadas con el sublinaje tumoral inglés. Estos berberechos positivos fueron recogidos en Reino Unido, Irlanda, España y Portugal.

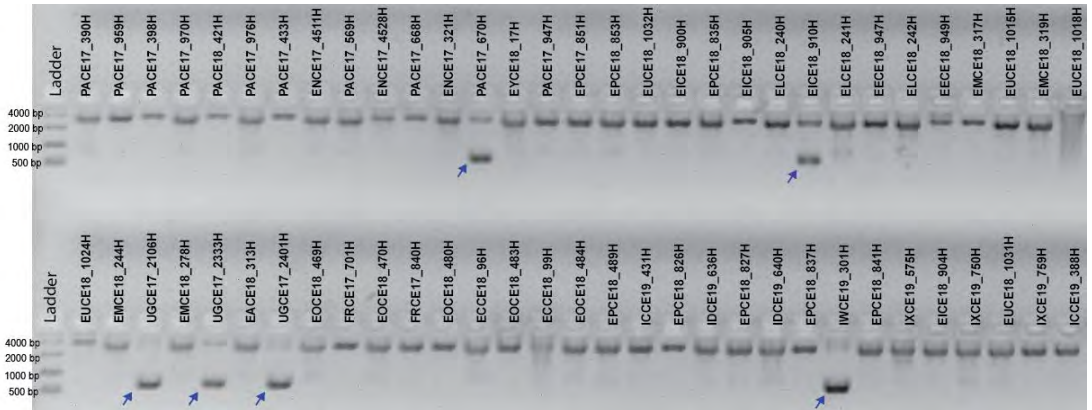


Figura 7. Diagnóstico de la línea inglesa en 62 muestras de berberecho con cáncer transmisible. Gel de agarosa al 2% en el que se cargaron 8  $\mu$ l de producto de la PCR para la amplificación de la región de la delección. El primer canal de cada fila muestra un marcador de peso molecular. Señaladas con flecha azul, las bandas diagnóstico específicas de muestras tumorales afectadas por la línea inglesa.

Ninguna de las 100 muestras de los berberechos sanos empleados en este trabajo amplificó la banda diagnóstica de la línea tumoral inglesa de 500 pb (Figura 8), apoyando el potencial de la delección como marcador molecular. Sorprendentemente, se observó que la banda grande no es siempre la misma. En ocasiones, la banda grande presentó un tamaño de  $\sim$ 4 kb; otras veces, de  $\sim$ 2 kb y en algunas muestras se pudo observar las dos. Esto sugiere que la región es variable y en la cohorte había individuos homocigotos para cada banda y heterocigotos.

En ambas PCR diagnósticas, en un número de muestras de berberechos sanos (14 en la del marcador francés, Figura 6, y 51 en la del marcador inglés, Figura 8) no se amplificó ninguna banda. Esto puede deberse a un error metodológico o a que la región donde hibridan los cebadores contiene muchas mutaciones, disminuyendo así la complementariedad y desfavoreciendo la hibridación.

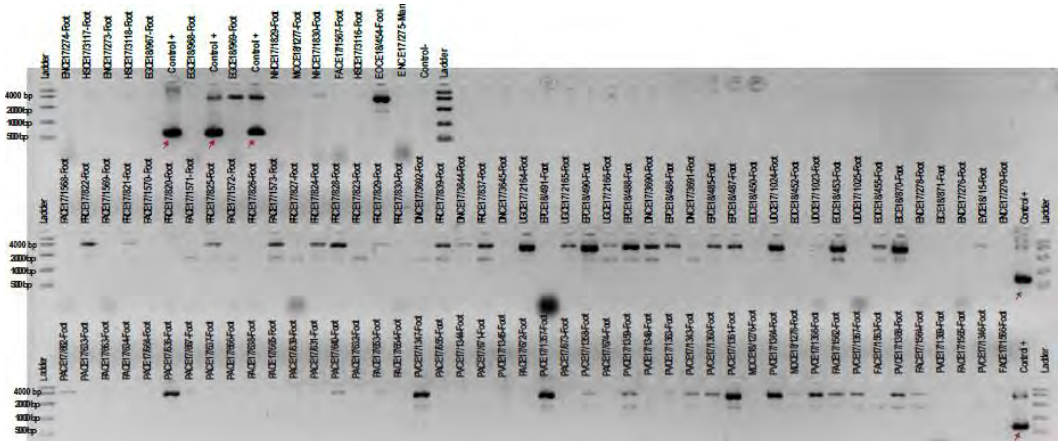


Figura 8. Análisis mediante PCR diagnóstica de la línea tumoral inglesa en 100 muestras de berberechos sanos. Gel de agarosa al 2% en el que se cargaron 8  $\mu$ l de producto de la PCR para la amplificación de la delección. El primer y último canal muestran los marcadores de peso molecular. Señaladas con una flecha roja las bandas diagnóstico en las muestras tumorales empleadas como controles positivos.

### Validación de los marcadores moleculares por secuenciación

Para validar que las bandas que observamos en las PCR realizadas son efectivamente las secuencias esperadas cuando se diseñó la prueba secuenciamos los productos de las muestras con cáncer. El análisis de los datos indicó que estas secuencias se corresponden con lo esperado ya que mapean en la región de la delección (Figura 9A, 10A). En los dos casos, faltan las bases delecionadas, pero la región flanqueante se encuentra intacta (Figura 9B, 10B). De esta forma, verificamos que las PCR permiten amplificar de forma efectiva la región de interés y no otras secuencias de tamaño similar en otras regiones, lo que las convierte en buenas pruebas genéticas para diagnosticar los sublinajes francés e inglés de cáncer transmisible de berberechos.

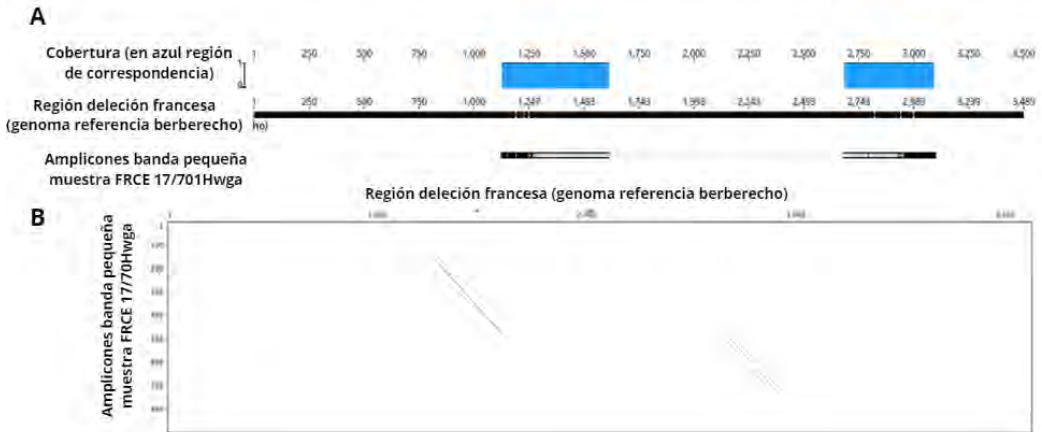


Figura 8. Análisis bioinformático del amplicón diagnóstico en el sublinaje tumoral francés. (A) Alineamiento del amplicón francés frente a la región de interés del genoma de referencia que muestra cobertura en dos zonas separadas por ~1 kb, que se corresponde con la región delecionada. (B) Gráfico de puntos con la región de interés del genoma de referencia en el eje x y la secuencia del amplicón en el eje y. Este gráfico no presenta una diagonal continua porque la correspondencia entre ambas secuencias está interrumpida por la región delecionada.

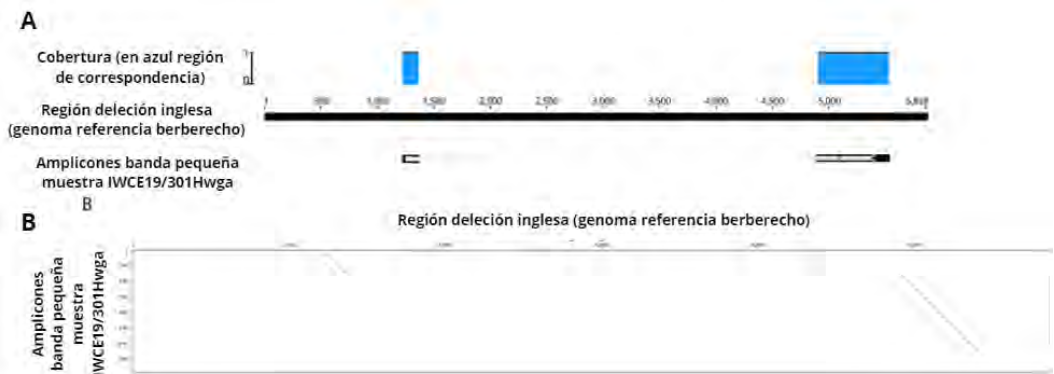


Figura 9. Análisis bioinformático del amplicón diagnóstico en el sublinaje tumoral inglés. (A) Alineamiento del amplicón inglés frente a la región de interés del genoma de referencia que muestra cobertura en dos zonas separadas por ~3.5 kb, que se corresponde con la región delecionada. (B) Gráfico de puntos con la región de interés del genoma de referencia en el eje x y la secuencia del amplicón en el eje y. Este gráfico no presenta una diagonal continua porque la correspondencia entre ambas secuencias está interrumpida por la región delecionada.

Estos resultados apoyan el potencial de estas dos delecciones como marcadores moleculares. Sin embargo, recientes hallazgos (Bruzos et al., 2023) sugieren la existencia de transmisión horizontal de ADN mitocondrial en los cánceres transmisibles de berberecho. Por lo tanto, los sublinajes aquí descritos pasarían a ser sublinajes y esta prueba serviría para diferenciarlos basándose en variantes estructurales que han acumulado desde su divergencia. De este modo, los ensayos diagnósticos utilizando pruebas como las descritas en este trabajo podrían suponer un avance en el estudio de la presencia y expansión de este cáncer transmisible en poblaciones de berberecho.

## CONCLUSIONES

En este trabajo, se describe el diseño y validación de dos pruebas diagnósticas basadas en delecciones cortas para identificar dos sublinajes de neoplasia diseminada en berberechos. Estas pruebas se testaron en un conjunto de 162 muestras tumorales y sanas recolectadas en distintos puntos de todo el rango de distribución de esta especie y fueron validadas por análisis bioinformático.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el European Research Council a través del proyecto ERC Starting Grant Scuba Cancers (no. 716290) otorgado a J.M.C.T. A.E.A.D. recibió financiación de la Asociación Española Contra el Cáncer a través de las Ayudas del Programa de Prácticas de Laboratorio. M.S. recibió financiación de un contrato predoctoral de la Xunta de Galicia (ref. ED481A-2017/299). El contrato de J.R.C. fue parcialmente financiado por el programa de estructuración y mejora de centros de investigación (Centros Singulares 2019, CiMUS). A.L.B. recibió financiación de un contrato predoctoral del Ministerio de Ciencia del Reino de España (ref. BES2016/078166). Se agradece la colaboración del personal de las cofradías de pescadores de Galicia y colaboradores internacionales por su asesoramiento y ayuda en el muestreo de berberechos.

## REFERENCIAS

- Alejos Velázquez LP., Aragón Martínez MC., Cornejo Romero A. (2014). Extracción y purificación de ADN. In: Cornejo Romero A., Serrato Díaz A., Rendón Aguilar B., Rocha Munive MG. Herramientas moleculares aplicadas en ecología: aspectos teóricos y prácticos. 1st ed. México. pp 1-25.
- Baez-Ortega A., Gori K., Strakova A., Allen JL., Allum KM., Bansse-Issa L., et al. (2019). Somatic evolution and global expansion of an ancient transmissible cancer lineage. *Science*, 365(6452):eaau9923.
- Bruzos AL., Santamarina M., García-Souto D., Díaz S., Rocha S., Zamora J., et al. (2023). Somatic evolution of marine transmissible leukemias in the common cockle, *Cerastoderma edule*. *Nat cancer*, 4(11): 1575–1591.
- Dujon AM., Gatenby RA., Bramwell G., MacDonald N., Dohrmann E., Raven N., et al. (2020). Transmissible Cancers in an Evolutionary Perspective. *iScience*, 23(7):101269.
- García-Souto D., Bruzos A. L., Díaz S., Rocha S., Pequeño-Valtierra A., Roman-Lewis C. F., et al. (2022). Mitochondrial genome sequencing of marine leukaemias reveals cancer contagion between clam species in the Seas of Southern Europe. *eLife*, 11: e66946.
- Hart SFM., Yonemitsu MA., Giersch RM., et al. (2023) Centuries of genome instability and evolution in soft-shell clam, *Mya arenaria*, bivalve transmissible neoplasia. *Nat Cancer* 4: 1561–1574.
- Koressaar T., Remm M. (2007). Enhancements and modifications of primer design program Primer3. *Bioinformatics*, 23(10):1289-91.
- Kwon YM., Stammitz MR., Wang J., Swift K., Knowles GW., Pye RJ., et al. (2018). Tasman-PCR: a genetic diagnostic assay for Tasmanian devil facial tumour diseases. *R. Soc. Open Sci*, 5(10): 180870.



- Lambert AW, Pattabiraman DR, Weinberg RA. (2017). Emerging Biological Principles of Metastasis. *Cell*, 168(4):670-691.
- Li Y., Roberts ND., Wala JA., Shapira O., Schumacher SE., Kumar K., et al. (2020). Patterns of somatic structural variation in human cancer genomes. *Nature*, 578(7793):112-121.
- Marisa A. Yonemitsu, Jordana K. Sevigny, Lauren E. Vandepas, James L. Dimond, Rachael M. Giersch, Helen J. Gurney-Smith Multiple lineages of transmissible neoplasia in the basket cockle (*Clinocardium nuttallii*) with repeated horizontal transfer of mitochondrial DNA. *bioRxiv* 2023.10.11.561945.
- Martinez-Jiménez F., Movasati A., Brunner SR., Nguyen L., Priestley P., Cuppen E., et al. (2023) Pan-cancer whole-genome comparison of primary and metastatic solid tumours. *Nature*. 618(7964):333-341.
- Massagué J., Batlle E., Gomis RR. (2017). Understanding the molecular mechanisms driving metastasis. *Mol Oncol*, 11(1):3-4.
- McGranahan N., Swanton C. (2017). Clonal Heterogeneity and Tumor Evolution: Past, Present, and the Future. *Cell*, 168(4):613-628.
- Metzger M., Reinisch C., Sherry J., Goff S. (2015). Horizontal Transmission of Clonal Cancer Cells Causes Leukemia in Soft-Shell Clams. *Cell*, 161(2):255-263.
- Metzger M., Villalba A., Carballal MJ., Iglesias D., Sherry J., Reinisch C., et al. (2016). Widespread transmission of independent cancer lineages within multiple bivalve species. *Nature*, 534:705-709.
- Michnowska A., Hart S. F. M., Smolarz K., Hallmann A., Metzger M. J. (2022). Horizontal transmission of disseminated neoplasia in the widespread clam *Macoma balthica* from the Southern Baltic Sea. *Mol Ecol*, 31(11):3128–3136.
- Montaudouin X., Arzul I., Cao A., Carballal MJ., Chollet B., Correia S., et al. (2021). Catalogue of parasites and diseases of the common cockle *Cerastoderma edule* 1st ed. UA Editora Universidade de Aveiro. Portugal.

- Ostrander EA., Davis BW., Ostrander GK. (2016). Transmissible Tumors: Breaking the Cancer Paradigm. *Trends Genet*, 32(1):1-15.
- Patton AH., Lawrance MF., Margres MJ., Kozakiewicz CP., Hamede R., Ruiz-Aravena M., et al. (2020) A transmissible cancer shifts from emergence to endemism in Tasmanian devils. *Science*, 370: eabb9772.
- Romalde JL., Vilariño LM., Beaz R., Rodríguez JM., Díaz S., Villalba A., et al. (2007) Evidence of retroviral etiology for disseminated neoplasia in cockles (*Cerastoderma edule*). *J Invertebr Pathol*, 94(2):95-101.
- Skazina M., Ponomartsev N., Maiorova M., Khaitov V., Marchenko J., Lentsman N., et al. (2023). Genetic features of bivalve transmissible neoplasia in blue mussels from the Kola Bay (Barents Sea) suggest a recent trans-Arctic migration of the cancer lineages. *Mol Ecol*, 32(21): 5724–5741.
- Strachan T., Read AP. (2019). *Human molecular genetics* 5th ed. CRC Press Taylor and Francis Group. United States.
- Stratton MR., Campbell PJ., Futreal PA. (2009). The Cancer Genome. *Nature*, 458 (7239):719-724.
- Tubio JM. (2015). Somatic structural variation and cancer. *Brief Funct Genomics*, 14(5):339-51.
- Untergasser A., Cutcutache I., Koressaar T., Ye J., Faircloth BC., Remm M., et al. (2012). Primer3--new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Res*, 40(15):e115.
- Williams MJ., Sottoriva A., Graham TA. (2019). Measuring Clonal Evolution in Cancer with Genomics. *Annu Rev Genomics Hum Genet*, 20:309-329.
- Yonemitsu M. A., Giersch R. M., Polo-Prieto M., Hammel M., Simon A., Cremonte F., et al. (2019). A single clonal lineage of transmissible cancer identified in two marine mussel species in South America and Europe. *eLife*, 8:e47788.

# Optimizing Aquaculture Sustainability: Exploring Natural Approaches, Traditional Techniques, and Biomolecules for Fertility and Reproductive Management

## Optimización de la sostenibilidad de la acuicultura: explorando enfoques naturales, técnicas tradicionales y biomoléculas para el manejo de la fertilidad y reproducción

Zarhouti Ahlam, Ba Kadiata,  
El khalfi Bouchra, Soukri Abdelaziz

Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of  
Sciences Ain Chock, Health and Biotechnology Research Center, Hassan II  
University of Casablanca, Maarif B.P 5366, Casablanca, Morocco.

Correspondencia Soukri. Abdelaziz  [ab.soukri@gmail.com](mailto:ab.soukri@gmail.com)

Key words |  
aquaculture,  
biomolecules,  
fertility,  
fish sterility

**ABSTRACT** | Aquaculture is a vital sector in meeting the increasing demand for aquatic products, contributing to global food security. However, managing fish fertility in aquaculture is crucial to prevent the adverse effects of escapes and uncontrolled breeding of farmed fish on natural ecosystems. Farmed fish, often genetically distinct from their wild counterparts, can disrupt the genetic and ecological balance of wild populations if they escape from aquaculture facilities and reproduce with wild populations. To control fish fertility in aquaculture, various artificial sterilization methods have been developed, including the use of chemicals or genetic manipulation techniques. However, these methods can be costly, complex, and pose risks to the environment and fish health. In this context, the use of natural methods involving plants and essential oils emerges as a promising alternative. Some plants and essential oils contain bioactive compounds that can influence fish reproduction safely and effectively. These natural approaches offer

potential solutions that are less invasive, more sustainable, and environmentally friendly for managing fish reproduction in aquaculture.

Palabras clave |  
acuicultura,  
biomoléculas,  
Fertilidad,  
esterilidad del pescado

**RESUMEN** | La acuicultura es un sector vital para satisfacer la creciente demanda de productos acuáticos, contribuyendo a la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, gestionar la fertilidad de los peces en la acuicultura es crucial para prevenir los efectos adversos de las fugas y la cría incontrolada de peces de cultivo en los ecosistemas naturales. Los peces de piscifactoría, a menudo genéticamente distintos de sus homólogos silvestres, pueden alterar el equilibrio genético y ecológico de las poblaciones silvestres si escapan de las instalaciones acuícolas y se reproducen con poblaciones silvestres. Para controlar la fertilidad de los peces en la acuicultura se han desarrollado diversos métodos de esterilización artificial, incluido el uso de productos químicos o técnicas de manipulación genética. Sin embargo, estos métodos pueden ser costosos, complejos y presentar riesgos para el medio ambiente y la salud de los peces. En este contexto, el uso de métodos naturales que involucran plantas y aceites esenciales surge como una alternativa prometedora. Algunas plantas y aceites esenciales contienen compuestos bioactivos que pueden influir en la reproducción de los peces de forma segura y eficaz. Estos enfoques naturales ofrecen soluciones potenciales que son menos invasivas, más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para gestionar la reproducción de peces en la acuicultura.

## INTRODUCTION

There is no doubt that aquaculture is increasingly prominent in the world food panorama, complementing food sources from aquatic and terrestrial environments (Little *et al.*, 2016a). The data show that aquaculture already accounted for a considerable share (43%) of aquatic animal feed for human consumption in 2007 (Bostock *et al.*, 2010).

Nutritious foods of animal origin, including aquatic animals, has been crucial in the evolution of hominids and early human brain development (Gormaz *et al.*, 2014). Indeed, aquatic animals are a valuable source of various essential nutrients that can sometimes be limited in other foods of animal or plant origin. Among these nutrients, iodine and long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids are particularly important for human health (Shunsuke *et al.*, 2017a).

Nevertheless, the ocean faces growing challenges that hinder its ability to sustainably support human well-being (Shunsuke *et al.*, 2017b), Marine regeneration capacity is currently compromised by several factors, including over-exploitation of marine resources, widespread pollution and unregulated expansion of coastal activities (Gentry *et al.*, 2017).

In recent decades, aquaculture has experienced remarkable development due to several factors (Little *et al.*, 2016b), Aquaculture is the fastest growing food production sector in the world (Subasinghe *et al.*, 2009). Although farmed fish, often genetically different from their wild counterparts, pose major risks of genetic contamination and ecological disturbance to natural populations if they escape from aquaculture facilities (Xu *et al.*, 2023).

The breeding of reproducibly sterile fish is the most effective method for genetically containing farmed fish populations. This helps to limit the risk of crossbreeding with wild populations and disturbance of natural ecosystems in the event of leakage or accidental release.

## Significance of fertility control in aquaculture

Farmed fish, frequently possessing genetic variations compared to their wild counterparts, have the potential to introduce genetic alterations that may be unsuitable for maintaining the genetic diversity and ecological equilibrium of wild populations if they escape and breed (Muir & Howard, 1999). The breeding of reproducibly sterile fish is thus the most effective means of genetically containing aquaculture fish since the breeding of sterile fish (Taranger *et al.*, 2010). Escaped sterile fish cannot reproduce or cross with wild populations, thereby reducing the risk of genetic interference. In addition, sterile fish offer an additional commercial advantage by preventing early maturation, a major challenge for many farmed species (Taranger *et al.*, 2010). When sexual maturation occurs before fish reach commercially viable size, it diverts energy and resources towards gonadal development, thereby compromising fish growth, health, flesh quality and welfare. Reproductive sterilization minimizes this energy allocation to the gonads, thus preserving the growth and health of the fish (Alp & Rao, 1989).

## Strategies for enhancing reproductive success in aquaculture

Controlling fish infertility is a major challenge for many aquatic breeders, The development of infertility-control technology for fish may be an effective tool for evolving commercial aquaculture (Golpour *et al.*, 2016). Existing methods include:

### 1. Triploid strategy controls infertility of fish

In aquaculture, induced triploids is mainly used for the production of sterile fish. According to traditional concepts, triploid fish usually have disordered meiosis, which can lead to low fertility or total infertility (Hu *et al.*, 2019).

The artificial induction method of triploids is mainly based on physical and chemical techniques. Physical techniques mainly include thermal and hydrostatic shocks, while chemical methods involve the use of substances such as colchicine or cytochalasin B to induce transformation into triploids (Zhang *et al.*, 2022).

## 2. Antisense RNA technology control of fish infertility

The regulation of gene expression related to reproductive development through transgenic technology, is a common approach to controlling fish fertility. This method mainly involves two practical aspects. First, antisense RNA technology inhibits the expression of endogenous genes, thus inducing infertility in fish. Secondly, infertile individuals can regain their fertility by being fed or injected with exogenous hormones, which allows them to maintain advantageous and desired characteristics (Zhang *et al.*, 2022).

## 3. Infertility control of fishes based on Ntr/Met system

Utilizing *Escherichia coli*'s Ntr (nitroreductase) enzyme along with Met (metronidazole) substrate, enables the elimination of germ cells in fishes. The process involves generating a transgenic lineage where a gonadal-specific promoter activates the expression of Ntr. Treating members of this lineage with a precise concentration of Met solution facilitates its uptake by the fish. Following internalization, Ntr converts Met into a cytotoxin, predominantly expressed in the gonads. This cytotoxin efficiently targets and eradicates germ cells, inducing infertility in fish (Zhang *et al.*, 2022).

## Exploration of natural approaches for regulating fertility in aquaculture

Many plants are known for their beneficial properties on reproductive function. These plants can act in different ways, some of them pose potential problems. Herbs such as *Origanum vulgare* (Zarhouti *et al.*, 2023), *Salvia officinalis*, *Eucalyptus globulus*, *Rosmarinus officinalis* (Mbaye *et al.*, 2019) and *Satureja khuzestanica* (Ahmadi *et al.*, 2017), are among the most common examples of plants traditionally used to improve reproductive function. Although some may induce sterility.

And since sterility is of paramount importance in aquaculture for various reasons. It helps to control the reproduction of fish in captivity, prevents the spread of unwanted species and contributes to improving the genetic quality of aquaculture stocks.

In addition, sterility reduces the risk of reproductive diseases and protects natural resources, by reducing pressure on wild fish populations, and fish infertility control technologies, such as triploid technology, antisense RNA, kid/kis system, Ntr/Met system and Gal4/UAS system, can be costly to develop and implement. Research, development and implementation of these methods require significant financial resources, including transgenic line selection, validation testing and laboratory equipment. These costs can be a challenge for many aquaculture businesses, especially small farms. The search for natural plant-based solutions to induce sterility in fish in aquaculture offers potentially cheaper alternatives.

By exploring the contraceptive or sterilizing properties of various plants, including neem (*Azadirachta indica*), it has been confirmed that neem leaves can be effectively used to inhibit reproduction in tilapia, acting as infertility inducing agents (Oguta O. Cavine, nd). These leaves have been observed to be destructive to testicular and ovarian tissues, inhibiting fish reproduction. A study conducted by Jegede & Fagbenro, 2008, also showed that neem leaves can act as reproductive inhibitors in tilapia (*T. zillii*), as evidenced by reproductive traits and histological observations of gonads in fish fed high levels of neem, Similar histological effects were reported by (Jegede *et al*, 2008b) when *O. niloticus* females were fed different dietary levels of papaya seed flour. Previous studies have shown that neem has an inhibitory effect on spermatogenesis and sperm motility.

There is also turmeric (*Curcuma longa*), a study conducted by Bahadir Koca *et al.*, 2019 indicate that supplementation of diets with turmeric powder, in amounts of 5% and 7%, suppressed the development of ovarian follicles and prolonged periods between spawning periods, resulting in low fertility of spawners. Costs associated with using more complex technologies can be reduced.

## CONCLUSION

The use of plants and essential oils in aquaculture offers a promising alternative for controlling fish fertility. These natural methods limit the environmental impact while maintaining sustainable practices, thus avoiding the use of expensive and complex methods, However, further studies are needed to confirm their effectiveness.



## REFERENCES

- Ahmadi, A., Bamohabat Chafjiri, S., Sadrkhanlou, R. A. (2017). Effect of *Satureja khuzestanica* essential oil against fertility disorders induced by busulfan in female mice, *Veterinary Research Forum*, 8(4): 281-286.
- Alp, P. K. M. M., & Rao, G. P. S. (1989). Growth Improvement in Carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus), Sterilized with 17 $\alpha$ -Methyltestosterone. *Aquaculture* 76: 157-167.
- Bahadir Koca S., Ongun O., Ozmen O., & Yigit N.O. (2019). Subfertility effects of turmeric (*Curcuma longa*) on reproductive performance of *Pseudotropheus acei*. *Animal Reproduction Science*, 202: 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.01.005>
- Bostock J., McAndrew B., Richards R., Jauncey K., Telfer T., Lorenzen K., Little D., Ross L., Handisyde N., Gatward I., & Corner R. (2010). Aquaculture: Global status and trends. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2897–2912. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0170>
- Gentry R.R., Lester S.E., Kappel C.V., White C., Bell T.W., Stevens J., & Gaines S.D. (2017). Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and Evolution*, 7(2): 733-743 <https://doi.org/10.1002/ece3.2637>
- Golpour A., Siddique M.A.M., Siqueira-Silva D.H., & Pšenička, M. (2016). Induced sterility in fish and its potential and challenges for aquaculture and germ cell transplantation technology: A review. *Biologia (Poland)*, 71(8): 853–864. <https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0118>
- Gormaz J.G., Fry J.P., Erazo M. & Love D.C. (2014). Public Health Perspectives on Aquaculture. *Current Environmental Health Reports*, 1(3): 227–238. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0018-8>
- Hu F., Fan J., Qin Q., Huo Y., Wang Y., Wu C., Liu Q., Li W., Chen X., Liu C., Tao M., Wang S., Zhao R., Luo K. & Liu S. (2019). The sterility of allotriploid fish and fertility

of female autotriploid fish. *Frontiers in Genetics*, 10:377(Apr).  
<https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00377>

Jegede T. & Fagbenro O. (2008). Dietary neem (*Azadirachta indica*) leaf meal as reproduction inhibitor in redbelly tilapia, *Tilapia zillii*.

Little D.C., Newton R.W. & Beveridge M.C.M. (2016a). Aquaculture: A rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3): 274–286.  
<https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>

Mbaye M.M., El Khalfi B., Addoum B., Mar P.D., Saadani B., Louanjli N. & Soukri A. (2019). The Effect of Supplementation with Some Essential Oils on the Mobility and the Vitality of Human Sperm. *The Scientific World Journal*, 2019. 1-6.  
<https://doi.org/10.1155/2019/4878912>

Muir W.M. & Howard R.D. (1999). Possible ecological risks of transgenic organism release when transgenes affect mating success: Sexual selection and the Trojan gene hypothesis. (1999). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 96(24):13853-6. doi: 10.1073/pnas.96.24.13853.

Shunsuke M., Kuningan Barat J. & Prapatan M. (2017a). Munich Personal RePEc Archive Global Marine Fisheries with Economic Growth.

Subasinghe R., Soto D. & Jia J. (2009). Global aquaculture and its role in sustainable development. *Reviews in Aquaculture*, 1(1): 2–9. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01002.x>

Taranger G.L., Carrillo M., Schulz R.W., Fontaine P., Zanuy S., Felip A., Weltzien F.A., Dufour S., Karlsen Ø., Norberg B., Andersson E. & Hansen T. (2010). Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3): 483–515. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.004>

Xu L., Zhao M., Ryu J.H., Hayman E.S., Fairgrieve W.T., Zohar Y., Luckenbach J.A. & Wong T.T. (2023). Reproductive sterility in aquaculture: A review of induction methods and an emerging approach with application to Pacific Northwest finfish species. *Reviews in Aquaculture*, 15(1): 220–241.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12712>

Zarhouti A., Mbaye M.M., Addoum B., Louanjli N., El Khalfi B. & Soukri A. (2023). The Impact of *Origanum vulgare* Supplementation on Human Asthenozoospermic Sperm Parameter Quality. Scientific World Journal, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/8093795>

Zhang Y., Xia H., Liu L., Yang P., Shao L. & Tang L. (2022). Progress in Infertility Control Technology of Fish. Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh, 74. <https://doi.org/10.46989/001c.37663>



# Biomolecules and their applications for the treatment of diseases caused by resistant bacteria in aquaculture

## Biomoléculas y sus aplicaciones para el tratamiento de enfermedades causadas por bacterias resistentes en la acuicultura

Fatima Mourabiti<sup>1,2</sup>, Soukayna Jarjini<sup>1</sup>,  
Yassine Zouheir<sup>2</sup>, Abdelaziz Soukri<sup>1</sup>,  
Bouchra El Khalfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Research Center of Health & Biotechnology, Hassan II University of Casablanca, 20100 Casablanca, (Morocco).

<sup>2</sup>Laboratory of molecular bacteriology, Pasteur Institute of Morocco, Casablanca, (Morocco).

Correspondencia Bouchra El Khalfi  [bouchra.elkhalfi@gmail.com](mailto:bouchra.elkhalfi@gmail.com)

Keywords |  
antibiotic resistance,  
aquaculture,  
antimicrobials

**ABSTRACT** | Aquaculture is a rapidly growing industry that accounts for almost half of the world's fish for human consumption. Intensive and semi-intensive methods are used to produce large quantities of fish, but disease outbreaks are frequent and the use of antimicrobials has become a common practice to control disease. The selective pressure of these drugs, often present at subtherapeutic amounts in water and sediments for extended periods, creates ideal conditions for the emergence and selection of resistant strains and stimulates horizontal gene transfer. It is now widely accepted that the transfer of antimicrobial resistance genes and resistant bacteria from aquatic livestock to terrestrial livestock and the human environment, and vice versa, can have deleterious effects on human and animal health and aquatic ecosystems. Further, we will highlight and discuss novel alternatives such as bacteriocins, probiotics, and prebiotics, which have antimicrobial properties for disease control in aquaculture as an alternative to antibiotics.

Palabras clave |  
Resistencia  
antibiótica,  
acuicultura,  
antimicrobianos

**RESUMEN** | La acuicultura es una industria en rápido crecimiento que representa casi la mitad del pescado mundial para consumo humano. Se utilizan métodos intensivos y semiintensivos para producir grandes cantidades de pescado, pero los brotes de enfermedades son frecuentes y el uso de antimicrobianos se ha convertido en una práctica común para controlar las enfermedades. La presión selectiva de estos fármacos, a menudo presentes en cantidades subterapéuticas en agua y sedimentos durante períodos prolongados, crea las condiciones ideales para la aparición y selección de cepas resistentes y estimula la transferencia horizontal de genes. Actualmente se acepta ampliamente que la transferencia de genes de resistencia a los antimicrobianos y bacterias resistentes del ganado acuático al ganado terrestre y al medio ambiente humano, y viceversa, puede tener efectos nocivos en la salud humana y animal y en los ecosistemas acuáticos. Además, destacaremos y discutiremos alternativas novedosas como bacteriocinas, probióticos y prebióticos, que tienen propiedades antimicrobianas para el control de enfermedades en la acuicultura como una alternativa a los antibióticos.

## INTRODUCTION

The FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) defines aquaculture as the farming of aquatic organisms including mollusks, aquatic plants, crustaceans, and fish. Aquaculture is a strategic sector for the years ahead, providing food required for a rapidly growing human population, considering the need to reduce impacts on health and the environment during food production

(FAO, 1988). Despite the worldwide growth in aquaculture, many problems have exponentially emerged over the years. Catastrophic fish diseases and spoilage during preservation caused by bacteria were the major deteriorating factors (Tapasa et al., 2014). The major diseases in fish are mostly caused by bacterial pathogens, the most prevalent of which are species of *Aeromonas*, *Pseudomonas*, and *Vibrio* (Austin et al., 2012).

Common bacteria responsible for causing infections in fish species, include *Pseudomonas anguilliseptica*, *Aeromonas salmonicida*, *Moritella viscosa*, *Tenacibaculosis*, *Vibrio harveyi*, and *V. anguillarum*, and *Lactococcus garvieae*, have profoundly affected a variety of economically important fish species, reared in marine and brackish water aquaculture production around the world, causing heavy financial losses for the aquaculture industry worldwide. While the management of infection, using chemotherapeutic agents or antibiotics that target bacterial pathogens and eukaryotic parasites, is widespread within the aquaculture industry (Defoirdt et al., 2011). However, such a strategy does not afford protection against viral diseases, is potentially harmful to the environment, raises concerns regarding antibiotic contamination of the product, and encourages the emergence and spread of drug resistance amongst pathogens and parasites (Cabello, 2016). The WHO report on the global surveillance of resistance states indicates that existing antimicrobials are becoming less effective. At the same time, the choice of effective therapeutic methods is therefore problematic at present. There exists a need to develop ways to protect aquaculture animals from pathogenic bacteria without the use of antibiotics. A holistic approach that considers the relationship between pathogen, host, and environment seems necessary in the long term (WHO, 2014).

In this paper highlights the use of antibiotics and different potential alternatives post-antibiotic, used to fight against antibiotic resistance bacteria in aquaculture then treat bacterial infections in fish.

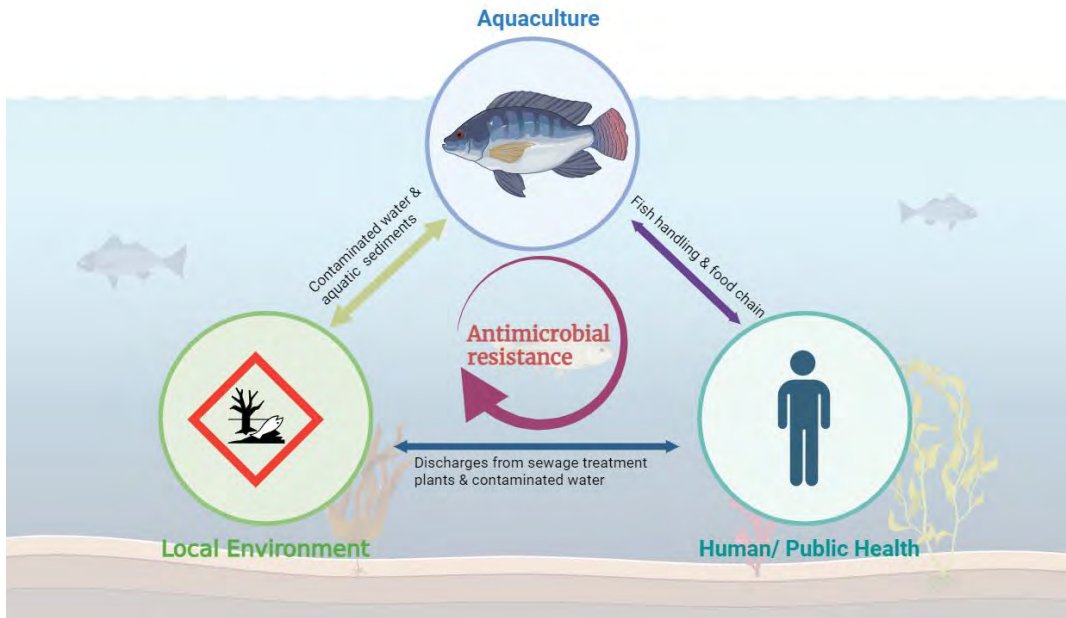


Figure 1. Antimicrobial resistance in aquaculture (Santos et al., 2018).

## I. Antibiotic use in aquaculture

Antibiotic treatments for bacterial diseases have been widely used in aquaculture for several years. According to Lulijwa et al. (2020), around 73 per cent of major aquaculture producing countries use oxytetracycline, florfenicol and sulphadiazine, while 55 per cent use erythromycin, amoxicillin, sulphadimethoxine and enrofloxacin. Selective pressures from antibiotic use are fueling antimicrobial resistance (AMR) (Lulijwa et al., 2020). Over the past decade, the body of evidence on antimicrobial resistance has expanded (Caputo et al., 2023). A growing body of research has linked AMR in marine fish to loss of productivity and diseases that are resistant to treatment, with negative consequences for fish and human health (Schar et al., 2020).

Treatment options in commercial marine fish farming may be reduced due to pathogen resistance, with potential implications for food security and nutrition (Watts et al., 2017). The World Health Organization (WHO) has stated that several antibiotics used in agriculture and aquaculture, including the tetracycline,

quinolone and penicillin families, are essential for human medicine (Doney et al., 2015).

Naturally, producers of non-antibiotic antimicrobials have received much attention as an alternative to the use of antibiotics. In particular, probiotic microorganisms have been increasingly investigated as a means of improving fish defenses, especially as they are considered safe and are also frequent producers of antimicrobial peptides such as bacteriocins (Soltani et al., 2021).

## II. Examples of biomolecules implicated in the treatment of bacterial infections

### 1. Marine biomolecules

Marine secondary metabolites are recognized by unique structural and functional features. They provide diverse biological activities such as antitumor, immunostimulatory, antiinflammatory, antibacterial, antifouling and antioxidant activities (Chbel et al., 2020). For example, epidermal fish mucus comprises of diverse bioactive metabolites which plays an immense role in defense mechanisms and other important cellular activities. *P. sophore* mucus extract was found to be effective against all tested strains. It also impedes the architecture of biofilm matrix, by affecting the viability and integrity of bacterial cells within biofilms and reducing the total exopolysaccharide content (Patel et al., 2020).

Many studies concerning alkaloid detection in marine-derived fungi, focused on their application potential as cytotoxic agents for the development of innovative cancer therapies, leaving their antimicrobial potential often untapped (Willems et al., 2020).

### 2. Microalgae biomass

Microalgae have demonstrated potential to be an improvement in aquaculture production. The nutritional benefits of using microalgae as a source of protein, lipids and essential micronutrients in feed, have been demonstrated and are now being applied at farm level. Microalgae also offer opportunities for natural protection against microbial pathogens, and thus disease prevention through the production of natural antimicrobial compounds (Charoonnart et al., 2018). In addition, several studies have shown that algal-derived long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-



PUFAs), such as eicosapentaenoic acid (EPA), as well as algal sterols, have antibacterial properties and can be effective against both gram-positive and gram-negative bacteria. Therefore, the inclusion of microalgae in the diet of aquatic animals is likely to contribute to a reduced risk of bacterial infections (Benkendorff et al., 2005).

Microalgae have gained much attention as a source of biomolecules and biomass for feed purposes. Algae farming can be established both on land and at sea, and strategies can be developed to obtain the products of specific interest in the best way and great attention as an alternative to the use of antibiotics (Yaakob et al., 2014). Probiotic microorganisms have been increasingly investigated as a means of improving fish defenses, especially as they are considered safe and are also frequent producers of antimicrobial peptides such as bacteriocins (Yaakob et al., 2014).

### 3. Probiotics and antimicrobial peptides

Antimicrobial peptides (AMPs) are small peptides that are promising candidates to replace antibiotics, because they are the first line of defense in animals against a wide range of pathogens and have no adverse effects. In addition, AMPs are readily available from natural sources and have been used in the livestock and food industries. Photosynthetic marine organisms have a flexible metabolism that allows them to survive under a wide range of environmental conditions and in highly competitive environments. For this reason, these organisms represent a powerful source of bioactive molecules as nutraceuticals and pharmaceuticals, including AMPs. Therefore, in this study, we reviewed the current knowledge on AMPs from photosynthetic marine organisms and analyzed whether they could be suitable for use in aquaculture (Garcia-Beltran et al., 2023).

The use of probiotics in feed improves the health of aquatic animals without negative side effects. Among the studies that have demonstrated the benefits of probiotic use, different mechanisms of action have been identified, depending on the species and environmental conditions encountered by the microorganism. Probiotics used in aquaculture include specific strains of yeasts and, more importantly, bacteria, including representatives of *Lactococcus* sp., *Enterococcus* sp. and others. Some species of lactic acid bacteria (LAB) are considered safe and

may be producers of natural antimicrobials such as bacteriocins (Pereira et al., 2022).

Probiotic microorganisms used in aquaculture include specific strains of yeasts, algae and especially bacteria, including representatives of *Bacillus* sp., *Lactococcus* sp., *Micrococcus* sp., *Carnobacterium* sp., *Enterococcus* sp., *Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp. and *Weissella* sp. Bacteria belonging to the LAB group are considered GRAS, i.e. generally recognized as safe, and can produce natural compounds with antimicrobial potential and can also stimulate the immune system; therefore, most probiotic studies are conducted with strains of LAB (Singhal et al., 2019).

#### 4. Nanoparticles

Nanoparticles are one alternative that could potentially be used as antimicrobial agents in human and veterinary medicine, including fish. It was reported that silver nanoparticles exhibited high antimicrobial efficacy against a variety of gram-negative and gram-positive bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Edwardesiella tarda*, *Flavobacterium* spp. *Pseudomonas fluorescens*, *Proteus* spp. In addition, silver nanoparticles could be used to improve the water quality of fish ponds as a bioremediation process (Ghetas et al., 2021). AgNPs exert antimicrobial activity through multiple mechanisms, such as disruption of cell membranes, generation of reactive oxygen species, binding to microbial DNA and interference with protein synthesis. AgNPs are effective against multi-drug resistant bacteria (El-Adawy et al., 2020).

Silver nanoparticles (AgNPs), especially green ones, have strong antimicrobial properties in competition with many fish microorganisms, including gram-positive and gram-negative bacteria, moulds and yeasts. More specifically, green biological production of AgNPs is safer and more effective than chemical production, mainly by increasing their concentration. The results obtained contribute to overcoming antimicrobial resistance, limiting fish diseases, increasing economy and, consequently, improving human health (Shakweer et al., 2020).

## CONCLUSIONS

Bacterial disease outbreaks in aquaculture systems have increased in the last few decades, and policies that restrict antibiotic use have been implemented. To avoid production losses, new therapeutic fish farming technologies, and new infectious control and prevention protocols are required.

## REFERENCES

- Austin B. & Austin D.A. (2016). *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. (6th ed.) Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
- Benkendorff K., Davis A.R., Rogers C.N., Bremner J.B. (2005). Free fatty acids and sterols in the benthic spawn of aquatic molluscs, and their associated antimicrobial properties. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 316: 29-44. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.10.001>.
- Cabello F.C., Godfrey H.P., Buschmann A.H., Dölz H.J. (2016). Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *The Lancet Infectious Diseases*. 16. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00100-6).
- Caputo A., Bondad-Reantaso MG., Karunasagar I., Hao B., Gaunt P., Verner-Jeffreys D., Fridman S., Dorado-Garcia A. (2023) Antimicrobial resistance in aquaculture: a global analysis of literature and national action plans. *Rev. Aquac.*, 15:568–578.
- Charoonart P., Purton S., Saksmerprome V. (2018). Applications of Microalgal Biotechnology for Disease Control in Aquaculture. *Biology (Basel)*, 7:24.
- Chbel, A.; Delgado, A.; Soukri, A.; El Khalfi, B. (2020). Marine Biomolecules: A Promising Approach in Therapy and Biotechnology. *European Journal of Biological Research*, 11: 122-133.
- Defoirdt T., Sorgeloos P., Bossier P. (2011). Alternatives to antibiotics for the control of bacterial disease in aquaculture. *Curr. Opin. Microbiol*, 14: 251–258.

- Done HY., Halden RU. (2015). Reconnaissance of 47 antibiotics and associated microbial risks in seafood sold in the United States. *J Hazard Mater*, 282:10–17.
- El-Adawy M., Eissa A., Shaalan M., Ahmed A., Nehal A., Younis M., Abdelsalam M. (2021). Green synthesis and physical properties of Gum Arabic-silver nanoparticles and its antibacterial efficacy against fish bacterial pathogens. *Aquaculture Research*. 52: 1247-1254. <https://doi.org/10.1111/are.14983>.
- FAO. (1988). Definition of Aquaculture, Seventh Session of the IPFC Working Party of Experts on Aquaculture, IPFC/WPA/WPZ: RAPA/FAO: Bangkok, Thailand.
- García-Beltrán J., Arizcun M., Chaves-Pozo E. (2023). Antimicrobial Peptides from Photosynthetic Marine Organisms with Potential Application in Aquaculture. *Marine Drugs*. 21. 290. <https://doi.org/10.3390/md21050290>.
- Ghetas H., Razek N., Shakweer M., Abotaleb M., Paray B., Ali S., Eldessouki E., Dawood M., Khalil R. (2021). Antimicrobial activity of chemically and biologically synthesized silver nanoparticles against some fish pathogens. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.015>.
- Lulijwa R., Rupia E.J., Alfaro AC. (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Rev Aquac*, 12: 640–663.
- Patel M., Ashraf M.S., Siddiqui A.J., Ashraf S.A., Sachidanandan M., Snoussi M., Adnan M., Hadi S. (2020). Profiling and Role of Bioactive Molecules from *Puntius sophore* (Freshwater/Brackish Fish) Skin Mucus with Its Potent Antibacterial, Antiadhesion, and Antibiofilm Activities. *Biomolecules*. <https://doi.org/10.3390/biom10060920>.
- Pereira W., Piazzentin A., Piazzentin M., de Oliveira R., Carlos M., Mendonça C., Tabata Y., Mendes M., Fock R., Makiyama E., Corrêa B., Vallejo M., Villalobos E., Pinheiro R., Oliveira S. (2022). Bacteriocinogenic probiotic bacteria isolated from an aquatic environment inhibit the growth of food and fish pathogens. *Scientific Reports*. 12. 127. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09263-0>.

- Santos L., & Ramos F. (2018). Antimicrobial resistance in aquaculture: Current knowledge and alternatives to tackle the problem. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52: 135–143.
- Schar D., Klein EY., Laxminarayan R., Gilbert M. (2020). Global trends in antimicrobial use in aquaculture. *Sci Rep*, 10: 21878.
- Singhal N., Singh N.S., Mohanty S., Singh P., Viridi J.S., (2019). Evaluation of Probiotic Characteristics of Lactic Acid Bacteria Isolated from Two Commercial Preparations Available in Indian Market. *Indian J. Microbiol*, 59: 112–115.
- Soltani S., Hammami R., Cotter P.D., Rebuffat S., Said L., Gaudreau H., Bédard F., Biron E., Drider D., Fliss I. (2021). Bacteriocins as a New Generation of Antimicrobials: Toxicity Aspects and Regulations. *FEMS Microbiol. Rev*, 45: 1–24.
- Tapasa S., Prasant K., Patel Seshadri S. (2014). Bacteriocins and their applications for the treatment of bacterial diseases in aquaculture: a review. *Aquaculture Research*. 47. <https://doi.org/10.1111/are.12556>.
- Watts J., Schreier H., Lanska L., Hale M. (2017). The rising tide of antimicrobial resistance in aquaculture: sources. *Sinks Solut Mar Drugs*, 15:158.
- WHO. (2014). Antimicrobial Resistance. In *Global Report on Surveillance*; World Health Organization: Geneva, Switzerland.
- Willems T., De Mol M.L., De Bruycker A., De Maeseneire S.L., Soetaert W.K. (2020). Alkaloids from Marine Fungi: Promising Antimicrobials. *Antibiotics*, 9: 340.
- Yaakob Z., Ali E., Zainal A., Mohamad M., Takriff MS. (2014). An overview: biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture. *Journal of Biological Research-Thessaloniki* 2241-5793.

# Biotecnología y bioproductos

# Extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents in microwave: Preliminary study

Extração de compostos bioativos de uma alga castanha recorrendo ao uso de solventes eutéticos profundos em microondas: Estudo preliminar

Meirielly Jesus<sup>1</sup>, Aloia Romaní<sup>1,2</sup>,  
Joana Santos<sup>1,3</sup>, Preciosa Pires<sup>1,3</sup>,  
Elia Fernandes<sup>1,3</sup>, Fernando Mata<sup>1</sup>,  
Carla Ramos<sup>3</sup>, Manuela Vaz-Velho<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>CISAS-Center for Research and Development in Agrifood Systems and Sustainability, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, Portugal

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Ciências, Universidade de Vigo, Ourense, Espanha

<sup>3</sup>ESTG-IPVC - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, Portugal

Meirielly Jesus   meiriellyjesus@ipvc.pt

Palavras-chave |  
*Laminaria hyperborea*,  
*Ascophyllum nodosum*,  
compostos bioativos,  
solventes eutéricos  
profundos

**RESUMO** | A utilização de solventes eutéricos profundos (SEP) assistidos por micro-ondas para extração de compostos bioativos de algas marrons é uma metodologia promissora. Este método inovador aproveita a eficiência do SEP, facilitada pela tecnologia de micro-ondas, para extração rápida de compostos valiosos. Esta abordagem tem potencial para extratos de alta qualidade aplicáveis em produtos farmacêuticos, nutracêuticos e alimentos funcionais, contribuindo para técnicas de extração sustentáveis. O estudo caracterizou *Ascophyllum nodosum* e *Laminaria hyperborea*, avaliando o SEP como solvente alternativo para extração

de compostos bioativos, avaliando seu perfil antioxidante e capacidade antimicrobiana. Os extratos com maior concentração fenólica utilizaram SEP 60% extraído a 130°C durante 20 minutos. Estes apresentam atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Clostridium perfringens*. O SEP também inibiu o crescimento microbiano, sugerindo potencial sinérgico com os extratos, o que requer validação adicional.

### Keywords |

*Laminaria hyperborea*,  
*Ascophyllum nodosum*,  
bioactive compounds,  
deep eutectic solvents

**ABSTRACT |** The utilization of microwave-assisted deep eutectic solvents (DES) for extracting bioactive compounds from brown algae is a promising methodology. This innovative method leverages DES efficiency, facilitated by microwave technology, for rapid extraction of valuable compounds. This approach holds potential for high-quality extracts applicable in pharmaceuticals, nutraceuticals, and functional foods, contributing to sustainable extraction techniques. The study characterized *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria hyperborea*, evaluating DES as an alternative solvent for extracting bioactive components, assessing their antioxidant profile and antimicrobial capacity. Extracts with the highest phenolic concentration used 60% DES extracted at 130°C for 20 minutes. These display antimicrobial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Clostridium perfringens*. The DES also inhibited microbial growth, hinting at synergistic potential with the extracts, which requires further validation.

## INTRODUCTION

Algae and particularly brown algae are known by their bioactive potential (Remya et al., 2022). Different methods of extraction have been tested: response surface methodologies (Kadam et al., 2015), enzyme assisted methodologies (K. Habeebullah et al., 2020), and others such as microwave-assisted extraction, ultrasound assisted extraction, pressurized liquid extraction (Dobrinčić et al., 2020). The extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents (DES) as extraction solvents per microwave digester is a novel approach with great potential for yielding high-quality extracts with diverse applications in



pharmaceuticals, nutraceuticals, and functional foods (Nakhle *et al.*, 2021), contributing to advancements in sustainable and eco-friendly extraction techniques from brown algae (Obluchinskaya *et al.*, 2019).

Therefore, the first objective of this work was to produce a chemical characterization of the brown algae *Ascophyllum nodosum* (AN) and *Laminaria hyperborea* (LH) to evaluate the DES as alternative solvent for the extraction of bioactive compounds from both species. The second objective was to study their antioxidant profile, and the final aim was to determine their antimicrobial properties.

## MATERIALS AND METODS

Samples of LH were collected at Castelo de Neiva (41°37'09.9"N 8°48'46.7"W), Viana do Castelo, Portugal, in April 2023. Once in the lab, the algae were extensively washed with fresh water to eliminate salt as much as possible and thereafter dried overnight at 45°C. Once dried, the algae were grinded to a uniform size and sifted at 8 mm.

The algae analyses followed the NREL (National Renewable Energy Laboratory) norms for extractives, moisture, ashes, and acid hydrolysis. The extractives were determined using the Soxhlet method with water and ethanol solvents as described by Jesus *et al.* (2017).

For the quantitative acid hydrolysis, the obtained liquid phase during the process was analysed by high performance liquid chromatography (HPLC). This analysis was used for the determination of sugars. The HPLC used a refraction index detector and na Aminex column (BioRad) 87H (300 x 7.8 mm). The process of elution involved the use of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 M at 0.6 mL/min and 60 °C of temperature. The data was used to determine the concentrations of polysaccharides in the algae. After the qualitative acid hydrolysis, the remaining solids was measured by gravimetry for determination of the insoluble solid residue,

## Mineral analysis

The mineral analysis was conducted on the ashes of the sample. To determine the concentration of calcium (Ca), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), Iron (Fe), lead (Pb), manganese (Mn), nickel (Ni), sodium (Na), phosphorus (P) and zinc (Zn), the ashes were hot dissolved with nitric acid and the resulting solution filtered. The concentration of the remaining minerals in that set was determined by atomic absorption spectrometry (AAE) with an air-acetylene flame (Varian AA300) (SMEWW 3111 B) (Baird et al., 2017).

## Microwave-assisted extraction (MAE)

Alternative microwave-assisted extraction of phenolic compounds from seaweeds, were carried out in microwave digester. The initial conditions of microwave extraction were selected based on conventional heating extraction treatment. For the extraction of phenolic compounds, the liquid to solid ratio was 50 mL of ethanol-water per 5 g of seaweeds. The percentage of ethanol-water was 50 %, water was 100 %, and DES-Water was from 60 % to 100 %. Microwave extraction assays were carried out at temperature ranging from 100 °C for 10 min. Extracts were recovered by filtration. The experiments were conducted in triplicate. After choosing the concentration that gave the best results for TPC and oxidative activity, we studied the extraction by raising the temperatures between 130 and 150 °C at 10 and 20 min for extraction.

## Phenolic compounds analysis and antioxidant activity of Extracts

The extracts were analysed for total phenolic compounds (expressed as gallic acid equivalents, GAE) by absorbance following Folin-Ciocalteu method. Antioxidant activity of extracts was also determined by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity assay and the radical cation decolorization of 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6—sulphonic acid) (ABTS) assay following the methods described by Jesus et al. (2017). The values were expressed as grams of trolox equivalent per 100 g of seaweed extract (g TE/100 g DM).

## Antimicrobial activity

The best results from extraction were used to test antimicrobial activity. A disk diffusion assay was used to determine the diameter of the inhibition zone of tested extracts and was performed following the method by CLSI 2012 CITA. Each disk (Oxoid, England) (6 mm in diameter) was impregnated with 10  $\mu$ L of extract or control (three disks per extract in a total of eight disks per plate and two disks for the controls – DES (60% [ChCl:Al], or 63 % [AcNa:Al]) and commercial solution of sodium hypochlorite coded as Lx (Neoblanc, Fater SpA, Italy)). *Clostridium perfringens* ATCC 13124, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 were inoculated in Columbia Agar + 5% Sheep Blood (COS, Biomérieux, France). Active cultures (0.5 McFarland) were spread with a cotton swab onto Mueller-Hinton Agar (MHA, Oxoid, England). Plates were allowed to dry for 3 to 5 minutes. The disks were placed onto inoculated MHA plates, one disk in each of the eight equal parts. The plates stood for 15 min and then were inverted and incubated for 22 h  $\pm$  2 h at 37 °C  $\pm$  1. Zones of inhibition were measured in mm with the help of ImageJ software (Rasband, 1997- 2018). The results presented correspond to the qualitative of the two inhibition halos. We used DES in the same concentration and bleach, respectively, as negative and positive controls. Bacterial strains were selected as the most representative of the gram-positive and gram-negative foodborne pathogenic and food spoilage bacteria.

## RESULTS

Table 1 shows the chemical composition of both the *Laminaria hyperborea* (LH) and the *Ascophyllum nodosum* (AN). As can be observed, LA is richer in most of the components, however, AN is richer in ethanol extractives, Fucoïdan and acid insoluble residue.

In Figures 1 and 2 we can observe the composition of both algae in terms of minerals. With regards to the mineral composition, AN is richer in the metals showing in smaller quantities (Fe, Zn, Ni, Mn, Cu, and Pb), while LH is richer in Na, K, Mg and Ca.

Table 1. Seaweeds composition (g of component per 100 g of raw material oven-dry basis)

	<i>Laminaria hyperborea</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>
Ashes	33.78 ± 0.07	21.90 ± 0.18
Crude protein	11.55 ± 0.03	8.74 ± 0.05
Water extractives	56.18 ± 0.77	51.98 ± 0.89
Rhamnose	9.35 ± 0.17	4.23 ± 0.10
Ethanol extractives	10.97 ± 1.00	15.01 ± 1.56
Glucan	6.11 ± 0.42	2.48 ± 0.11
Xylan/Galactan/Mannan	1.52 ± 0.14	1.30 ± 0.45
Fucoïdan	1.57 ± 0.19	3.20 ± 0.57
Acid insoluble residue	5.00 ± 0.51	12.63 ± 0.25
Cellulose	28.40 ± 0.28	10.93 ± 0.14

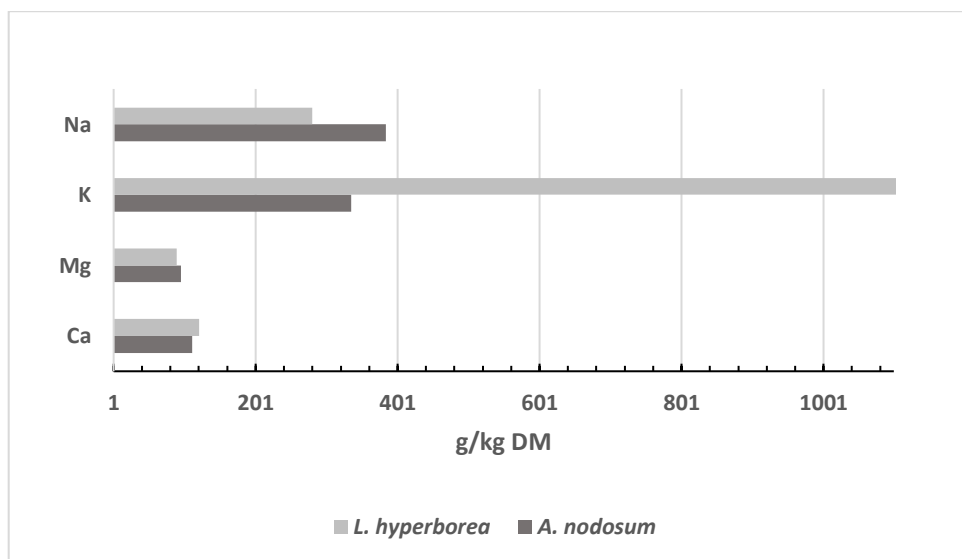


Figure 1. Mineral content of the algae (g/kg DM).

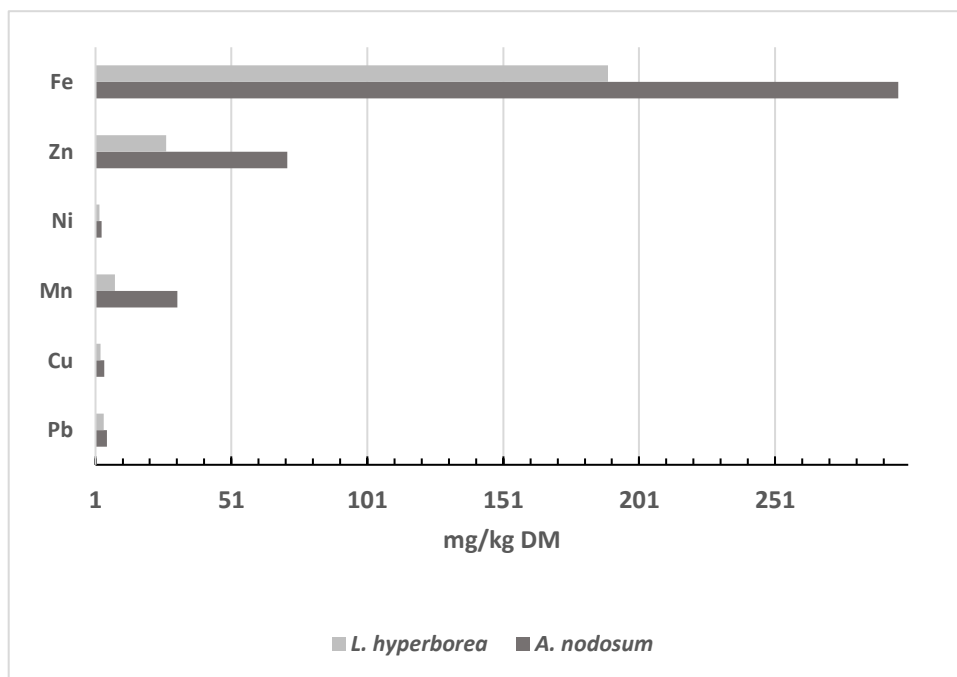


Figure 2. Mineral (metals) content of the algae (mg/g DM)

After the preliminary evaluation of the extraction capacity of the different type of solvents, we verify (Table 2) that the extraction with both 60% [ChCl:Al], and 63 % [AcNa:Al] gave the best yields for both the LH and the AN.

These were, therefore, chosen and tested for their extractive capacity in different temperatures (130 °C and 150 °C) and times of action (10 and 20 min) (Figures 3 and 4).

Table 2. Preliminary evaluation of solvent concentration for extraction of Total Phenolic Compounds (TPC), and antioxidant activity (DPPH, and ABTS) in the two brown algae (Temperature 100°C for 10 min).

Brown seaweed	Solvent	TPC (mg eq. GAE/g)	DPPH (mg eq. Trolox/g)	ABTS (mg eq. Trolox/g)
Ascophyllum nodosum	100 % [ChCl:AL]	5.54 ± 0.20	13.09 ± 0.01	0.22 ± 0.01
	80 % [ChCl:AL]	7.54 ± 0.44	13.25 ± 0.01	0.22 ± 0.01
	60 % [ChCl:AL]	10.49 ± 0.97	13.18 ± 0.10	0.20 ± 0.01
	90 % [AcNa:AL]	5.81 ± 0.88	13.03 ± 0.03	0.26 ± 0.06
	81 % [AcNa:AL]	4.21 ± 0.89	12.99 ± 0.02	0.20 ± 0.01
	63 % [AcNa:AL]	6.94 ± 0.19	13.08 ± 0.01	0.28 ± 0.03
Laminaria hyperborea	100 % [ChCl:AL]	14.46 ± 0.17	32.30 ± 0.76	8.56 ± 1.39
	80 % [ChCl:AL]	14.83 ± 0.04	30.76 ± 0.53	8.82 ± 0.70
	60 % [ChCl:AL]	14.16 ± 0.37	28.09 ± 0.92	15.65 ± 0.76
	100 % [AcNa:AL]	13.94 ± 0.07	25.12 ± 0.47	16.01 ± 1.70
	80 % [AcNa:AL]	13.95 ± 0.09	26.48 ± 0.26	16.19 ± 0.21
	63 % [AcNa:AL]	15.67 ± 0.28	34.22 ± 0.82	11.69 ± 0.47
	50 % EtOH-Water	6.94 ± 0.19	13.17 ± 0.03	0.35 ± 0.04
	100 % Water	6.20 ± 0.44	13.13 ± 0.08	0.17 ± 0.02

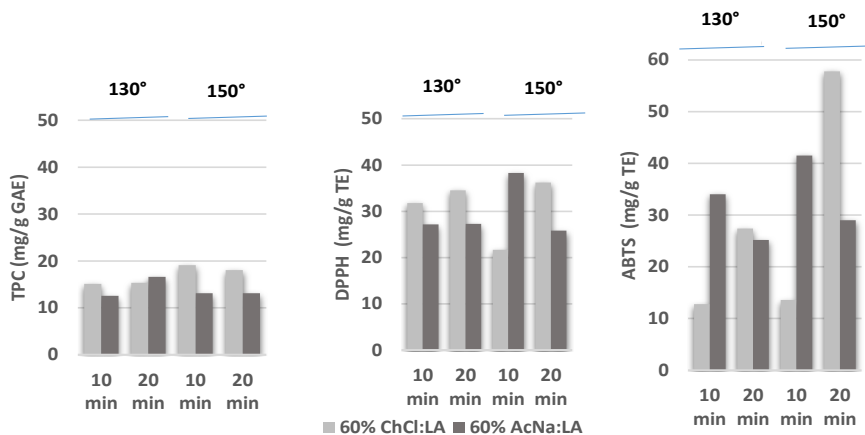


Figure 3. Assessment of the efficiency of bioactive extract extraction from *Laminaria hyperborea* using microwave and the best results from DES extraction methods (60% ChCl:LA; 60% AcNa:LA), using different times and temperature.

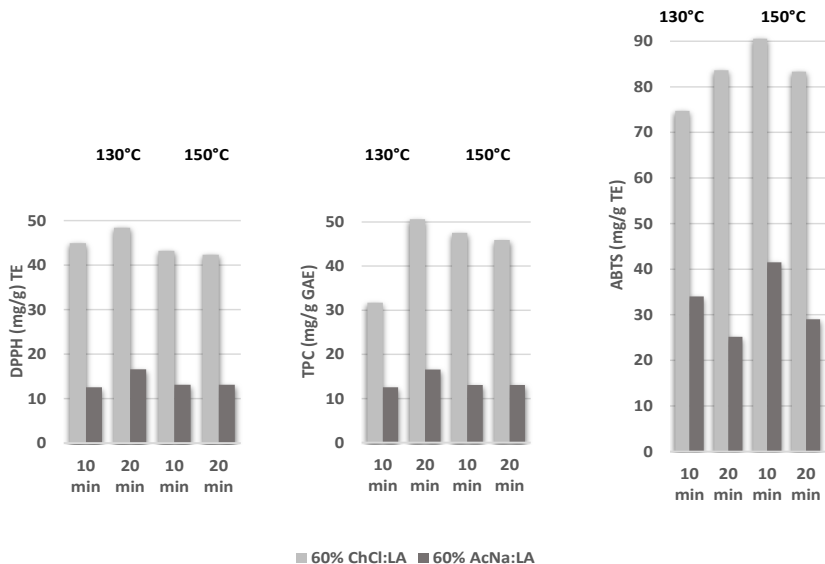


Figure 4. Assessment of the efficiency of bioactive extract extraction from *Ascophyllum nodosum* using microwave and the best results from DES extraction methods (60 % ChCl:LA; 60 % AcNa:LA), using different times and temperature.

The extracts with the highest concentration of total phenolic compounds were obtained using 60 % DES, extracted at 130°C in a microwave for 20 minutes. Subsequently, these extracts underwent antimicrobial analysis via disc diffusion.

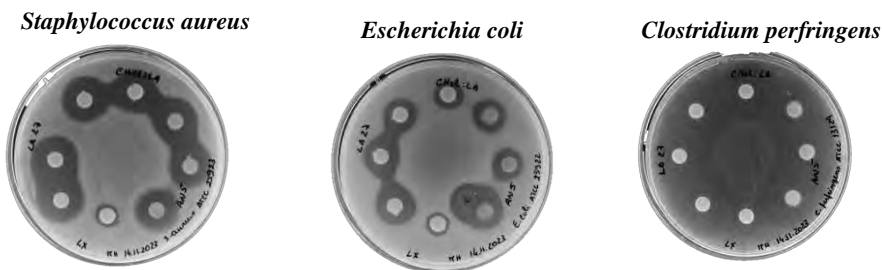


Figure 5. Antimicrobial activity study using disc diffusion. It tested extracts from *Laminaria hyperborea* and their extraction solvents against Gram-negative (*Escherichia coli*), Gram-positive (*Staphylococcus aureus*), and (*Clostridium perfringens*), while sodium hypochlorite served as a control.

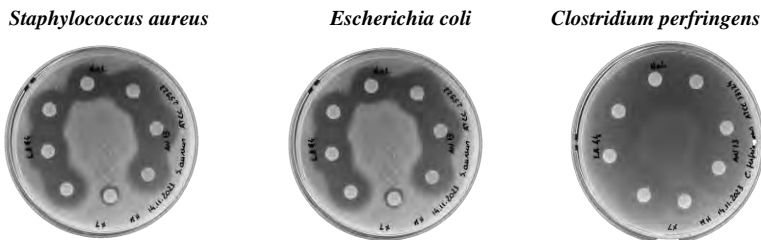


Figure 6. Antimicrobial activity study using disc diffusion. It tested extracts from *Ascophyllum nodosum* and their extraction solvents against Gram-negative (*Escherichia coli*), Gram-positive (*Staphylococcus aureus*), and (*Clostridium perfringens*), while sodium hypochlorite served as a control.

All tested extracts of *Laminaria hyperborea* and *Ascophyllum nodosum* displayed antimicrobial activity in disc diffusion against the microorganisms (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Clostridium perfringens*), and the DES used as a control also inhibited microbial growth (Figures 5 and 6). This suggests the potential synergistic action of DES with the extracts, enhancing their effectiveness. However, further research is needed to confirm this potentiality.

## DISCUSION

Seaweeds are rich in macro and micronutrients, making them ideal for sustainable food production. Brown algae like *Laminaria* sp. and *Ascophyllum* sp. are FDA-approved and recognized for their functional polysaccharides and mineral content (Bizzaro et al., 2022). Carbohydrates are vital for seaweed energy (Oucif et al., 2020). This study identified polysaccharide levels of 18.55 % and 11.21 % for *Laminaria hyperborea* and *Ascophyllum nodosum*, respectively. Ash content accounted for 33.78% and 21.90% for *Laminaria hyperborea* and *Ascophyllum nodosum*, respectively, estimating mineral levels.

Furthermore, seaweeds are rich in iodine, macrominerals (sodium, calcium, magnesium, potassium, chloride, sulfate, phosphorus), and microminerals (iodine, iron, zinc, copper, selenium, manganese, boron, nickel, cobalt) (Peñalver et al., 2020). However, seaweeds may accumulate heavy metals, posing health risks. In this study, cadmium levels were below the detection limit in both algae studied, indicating their absence of metallic contaminants.



Additionally, the Maximum extraction of polyphenolic compounds was obtained in *Ascophyllum nodosum*, with choline 60 % of ChCl:Al achieving  $50.61 \pm 0.28$  mg/g of GAE equivalent. The antioxidant activity was also the highest. The extraction of bioactive compounds from brown algae using a safe, biocompatible, biodegradable and environmentally friendly solvent such as DES (Cao & Su, 2021; Lomba *et al.*, 2021), represents an enormous potential for the development of new pharmaceuticals, cosmetics and functional foods (Liu *et al.*, 2018; Lomba *et al.*, 2021).

The extracts from *Laminaria hyperborea* and *Ascophyllum nodosum* exhibited antimicrobial activity, while the DES control also inhibited microbial growth, indicating possible synergistic effects requiring further investigation.

After the phenolic compounds extraction process, the solid phase (residue) still possesses added value that can be leveraged through potential valorisation routes such as the use as food ingredient (dietary fibre), or chemical and industrial use for the production of biofuels or basic chemicals, and also acid-insoluble residue needing evaluation of calorific value for solid biofuel production.

## CONCLUSIONES

In conclusion, brown algae, particularly *Laminaria* sp. and *Ascophyllum* sp., contain crucial polysaccharides and essential minerals. The effective use of Deep Eutectic Solvents (DES) has shown promise in safeguarding algae polyphenols, with potential applications in food, pharmaceuticals, and cosmetics. The resulting extracts exhibit remarkable antioxidant properties. Antimicrobial activity was observed in the extracts from *Laminaria hyperborea* and *Ascophyllum nodosum*, potentially with synergistic effects from DES. Furthermore, the post-extraction residual material holds potential for nutritional, chemical, or biofuel production uses, contributing to the circular economy.

## Acknowledgements

To the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support to the CISAS UIDB/05937/2020 and UIDP/05937/2020 (M.J. and F.M.) and by

the Spanish Ministry of Science and Innovation (MICIN) through the grant RYC2020-030690-I (to A.R.).

## REFERENCES

- Baird, R., Rice, E., & Eaton, A. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewaters. Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association.
- Bizzaro G., Vatland A.K., Pampanin D. M. (2022). The One-Health approach in seaweed foodproduction. *Environ Int*, 158,106948.
- Cao, J., & Su, E. (2021). Hydrophobic deep eutectic solvents: The new generation of green solvents for diversified and colorful applications in green chemistry. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127965.
- Dobrinčić, A., Balbino, S., Zorić, Z., Pedisić, S., Bursać Kovačević, D., Elez Garofulić, I., & Dragović-Uzelac, V. (2020). Advanced technologies for the extraction of marine brown algal polysaccharides. *Marine Drugs*, 18(3), 168.
- Jesus, M. S., Romani, A., Genisheva, Z., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2017). Integral valorization of vine pruning residue by sequential autohydrolysis stages. *Journal of Cleaner Production*, 168, 74–86.
- K. Habeebullah, S. F., Alagarsamy, S., Sattari, Z., Al-Haddad, S., Fakhraldeen, S., Al-Ghunaim, A., & Al-Yamani, F. (2020). Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from brown seaweeds and characterization. *Journal of Applied Phycology*, 32, 615–629.
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K., Smyth, T. J., & O'Donnell, C. P. (2015). Optimization of ultrasound assisted extraction of bioactive components from brown seaweed *Ascophyllum nodosum* using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 23, 308–316.

- Liu, Y., Friesen, J. B., McAlpine, J. B., Lankin, D. C., Chen, S.-N., & Pauli, G. F. (2018). Natural deep eutectic solvents: properties, applications, and perspectives. *Journal of Natural Products*, 81(3), 679–690.
- Lomba, L., Ribate, M. P., Sangüesa, E., Concha, J., Garralaga, M. a P., Errazquin, D., García, C. B., & Giner, B. (2021). Deep eutectic solvents: Are they safe? *Applied Sciences*, 11(21), 10061.
- Nakhle, L., Kfoury, M., Mallard, I., Landy, D., & Greige-Gerges, H. (2021). Microextraction of bioactive compounds using deep eutectic solvents: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 3747–3759.
- Peñalver R, Lorenzo JM, Ros G, Amarowicz R, Pateiro M, Nieto G. (2020). Seaweeds as a Functional Ingredient for a Healthy Diet. *Mar Drugs*, 18.
- Obluchinskaya, E. D., Daurtseva, A. V, Pozharitskaya, O. N., Flisyuk, E. V, & Shikov, A. N. (2019). Natural deep eutectic solvents as alternatives for extracting phlorotannins from brown algae. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 53, 243–247.
- Oucif H, Benaissa M, Mehidi SA, Prego R, Santiago P. (2020). Chemical Composition and Nutritional Value of Different Seaweeds from the West Algerian Coast. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 29, 90-104.
- Remya, R. R., Samrot, A. V, Kumar, S. S., Mohanavel, V., Karthick, A., Chinnaiyan, V. K., Umamathy, D., & Muhibbullah, M. (2022). Bioactive potential of brown algae. *Adsorption Science & Technology*, 2022, 9104835.

# Formulación cosmética madurada con agua de mar e incorporando *Ulva lactuca* para su uso como peloide

Cosmetic formulation matured with seawater and incorporating *Ulva lactuca* to be used as a peloid

Gabriel Pereiro López

Departamento de I+D+i. Grupo Moncho González,  
Pontevedra, España

Gabriel Pereiro López   [imasd.gmg@gmail.com](mailto:imasd.gmg@gmail.com)

Palabras clave |  
macroalgas marinas,  
caolinita,  
fango termal,  
tratamiento estético,  
efecto terapéutico

**RESUMEN** | El empleo en el diseño y elaboración de una composición cosmética para su uso como peloide de un mineral como el caolín conjuntamente con recursos renovables y ricos en compuestos bioactivos como las algas marinas puede ser de gran interés a nivel dermatológico. Se estudiaron seis mezclas con diferentes proporciones de fases sólidas y agua de mar, controlando las propiedades reológicas y el tiempo de maduración. Así mismo, se llevó a cabo un estudio preliminar con la mezcla que ofreció mejores prestaciones y manejabilidad, administrándola a nivel tópico sobre el antebrazo de varios pacientes. Todas las mezclas ofrecieron una adecuada aplicabilidad y unos prometedores resultados cosméticos a nivel de limpieza dérmica, tersura y efecto antioxidante. La formulación óptima se obtuvo empleando un 33% de *Ulva lactuca* fresca en el sustrato sólido, dejándola madurar en agua marina un mínimo de 48 horas y administrándola por vía tópica a temperaturas entre 39°C y 45°C.

Keywords | seaweeds, kaolin, thermal mud, aesthetic treatment, therapeutic effect

**ABSTRACT** | The use of a mineral such as kaolin together with renewable resources rich in bioactive compounds such as seaweed for the design and development of a cosmetic composition to be used as a peloid can be of great interest at a dermatological level. Six mixtures with different proportions of solid phases and seawater were studied, controlling the rheological properties and the maturation time. Likewise, a preliminary study was carried out on the mixture that offered better performance and manageability. It was administered topically on the forearm of several patients. All the mixtures showed adequate applicability and promising cosmetic results in terms of skin cleansing, smoothness, and antioxidant effect. The optimal composition was obtained using 33% of fresh *Ulva lactuca* in the solid substrate, leaving it to mature in seawater for a minimum of 48 hours and applying the peloid at temperatures between 39°C and 45°C on the skin.

## INTRODUCCIÓN

Los peloides son utilizados para el tratamiento de diversas dolencias y para el cuidado y belleza de la piel (Gomes *et al.*, 2013), pudiendo ser naturales o mezclas preparadas *ad hoc* (Rosino-Rosino *et al.*, 2021). El objetivo del presente estudio fue seleccionar varios ingredientes de interés y analizar la interacción entre ellos, utilizando procesos de mezcla y maduración óptimos y fomentando sinergias con efectos cosméticos beneficiosos para la piel de las personas.

Teniendo en cuenta que las algas pueden ser una fuente importante de sustancias antioxidantes naturales y su amplia disponibilidad en las costas del Noroeste de España, se seleccionó una especie de macroalgas susceptibles de ser empleadas para diseñar y elaborar peloides conjuntamente con un producto comercial sólido de tipo arcilloso (Bartolomé, 1997). Las propiedades esperadas para el peloide resultante son su empleo como tratamiento cosmético y/o terapéutico sobre la piel. El agente terapéutico resultante debe proporcionar altas prestaciones y facilitar la trazabilidad de componentes, garantía de calidad y adaptación al usuario.

El uso de los peloides como método terapéutico depende en buena parte de su facilidad de aplicación sobre la zona de acción, por lo que propiedades como la plasticidad y la reología son fundamentales. Además, dicha administración debe ser agradable para el paciente.

Los peloides termales, además de ser agentes terapéuticos, también se utilizan por sus propiedades dermocosméticas (Carabelli *et al.*, 1998). En este trabajo de investigación se ha empleado caolín (referencia GF40M) como material inorgánico, un material biológico de origen marino (algas de la especie *Ulva lactuca* L.) y agua marina procedente del exterior de la Ría de Pontevedra en la búsqueda de una formulación que garantice una adecuada administración y unos óptimos resultados a nivel estético.

## Sustrato sólido

### *Fracción mineral*

El caolín es un mineral de origen natural, aspecto blanquecino, arcilloso, inerte, de gran resistencia térmica, usado en multitud de sectores como carga o como excipiente, que forma parte del grupo de minerales industriales. Se distingue de otras arcillas principalmente por su blandura, blancura y fácil dispersión en agua y otros líquidos. Como arcilla que es facilita buena calidad de producto en cuanto a plasticidad y propiedades térmicas.

El uso de los peloides se complementa por su facilidad para aplicarlos sobre la zona de acción, lo que estará influenciado por su granulometría (Armijo Castro y Maraver Eyzaguirre, 2006). En consecuencia, para el estudio se empleó un caolín de referencia GF40M (Tabla 1) con una granulometría controlada (Tabla 2). El aspecto de dicho caolín era el de un sólido en polvo, totalmente inodoro (Figura 1).

Tabla 1. Ficha de producto y característica mineralógica del caolín empleado.

CAOLÍN - Referencia GF40M	
Nº CAS: 1332-58-7	<u>Análisis mineralógico</u>
Sinónimo: <i>China Clay</i>	Caolinita: 80 – 85 %
Constituyente principal: CAS: 1318-74-7	Moscovita: 15 – 20 %
Caolinita ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ )	Otros: 1 -3 %
Cuarzo respirable: < 1%	

Tabla 2. Especificaciones del caolín GF40M empleado en el diseño y elaboración de peloides a base de algas.

PROPIEDAD		VALOR	Tolerancia
Granulometría	+106 $\mu\text{m}$ :	0,20 %	máx.
(tamizado en húmedo y Sedigraph)	+10 $\mu\text{m}$ :	30,00 %	$\pm 5$
	<2 $\mu\text{m}$ :	25,00 %	$\pm 5$
Humedad	Moisture:	1,00 %	$\pm 0,5$
Blancura (ISO)	Brightness (ISO):	74	$\pm 4$

Fuente: Hoja Técnica de 24/03/2020. Revisión 2. Caolines de Vimianzo. Abreviaturas: Sedigraph: analizador de tamaño de partícula.



Figura 1. Aspecto del caolín GF40M recibido en laboratorio.

El mineral empleado se extrae en Vimianzo (A Coruña, España) y fue proporcionado directamente por el proveedor (Caolines de Vimianzo), el cual ha llevado a cabo su control químico y microbiológico para que cumpla los estándares europeos e internacionales. En las Tablas 3 y 4 se muestran las propiedades físico-químicas de la referencia empleada.

Tabla 3. Características típicas del caolín GF40M empleado.

PROPIEDAD	VALOR TÍPICO
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ):	0,25
pH (20% S):	5,5
Aspecto:	Pulverulento
Amarillez:	10
Color L*a*b* (CIE):	92 // -0,3 // 12

Fuente: Hoja Técnica de 24/03/2020. Revisión 2. Caolines de Vimianzo.

Abreviaturas: CIE: *Commission Internationale de l'Éclairage*.

L\*: luminosidad.

a\*: coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde).

b\*: coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Tabla 4. Composición química del caolín GF40M empleado en el estudio.

Composición	%	Composición	%	Composición	%
SiO <sub>2</sub>	48,10	MgO	0,20	Na <sub>2</sub> O	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,00	CaO	0,10	TiO <sub>2</sub>	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,40	K <sub>2</sub> O	2,40	P.F.(1100°C)	11,50

Fuente: Hoja Técnica de 24/03/2020. Revisión 2. Caolines de Vimianzo.

Abreviaturas: P.F.: punto de fusión.

Observando la literatura se puede constatar que el caolín presenta enormes beneficios para la piel, ya que ofrece un efecto purificante y depurativo, permitiendo una exfoliación suave, así como la reducción del exceso de grasa y el acné. También alivia la piel inflamada o irritada (Viseras *et al.*, 2007; Awad *et al.*, 2017). Por tanto, esta fracción mineral no solo facilitará el efecto terapéutico del peloide, sino también ayudará a mejorar la piel de la zona corporal sobre la que se aplique. Otro aspecto significativo es que esta arcilla influirá en la biodisponibilidad de los componentes bioactivos de las algas.

Por otro lado, sus propiedades como arcilla blanca hacen que sea de muy fácil aplicación, a lo que hay que sumar que se adhiere a la piel generando un efecto tensor y que presenta una textura extremadamente suave y agradable al tacto.



Desde el punto de vista de la cesión de calor y la textura instrumental, el empleo de caolín como fase sólida en la preparación de peloides permite obtener resultados similares a los centros termales españoles y extranjeros (Fernández Torán, 2014).

El mineral mayoritario en la composición del caolín, mayor del 80 % en peso, es la caolinita (como se aprecia en la Tabla 1) de fórmula  $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ , cuyas principales propiedades para el uso en la elaboración de peloides (Carretero León, 2005) se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Propiedades de la caolinita en peloterapia (modificado de Carretero, 2005).

PROPIEDAD	RANGO
Tamaño de partícula:	~ 1 $\mu\text{m}$ (diámetro) ~ 0,1 $\mu\text{m}$ (espesor)
Superficie Especifica ( $\text{m}^2/\text{g}$ ):	15-20
Capacidad intercambio catiónico ( $\text{meq}/100\text{g}$ ):	3-5
Índice de plasticidad:	40-50
pH:	4,5-5,5
Calor específico [Cp] a 300 K ( $\text{J}/\text{K kg}$ ):	930-960
[ $\rho$ ] Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ):	2,61-2,68

Abreviatura: ( $\text{meq}/100 \text{ g}$ ): mili equivalente por 100 gramos = ppm del catión/(peso equivalente x 10)

Un alto calor específico [Cp] y una baja conductividad térmica permitirán mantener durante más tiempo un efecto termoterapéutico en la zona de aplicación.

### Fracción biológica a base de algas marinas

Los océanos ofrecen una magnífica línea de productos naturales a la humanidad, lo que ha llevado a investigadores de todo el mundo a estudiar el contenido multifuncional de las algas marinas y sus propiedades (Pereira, 2018), ya que las algas marinas captan los iones metálicos, oligoelementos y aminoácidos del agua marina.

Como sustrato para la configuración de peloides se emplearon macroalgas de origen marino. En concreto, se recolectaron algas de la especie *Ulva lactuca* L. (Figura 2) abundantes y presentes en la costa de Galicia (región del Noroeste de

España) desde hace décadas, pues en 1934 Faustino Miranda ya recogía la presencia de esta especie en sus investigaciones de los años 30 del siglo pasado. Esta especie es muy rica en sales minerales y oligoelementos, especialmente calcio y magnesio, y contiene los diferentes aminoácidos esenciales (Vinoj Kumar y Kaladharan, 2007) y proteínas similares a la elastina.



Figura 2. Imagen de una partida de *Ulva lactuca* tras el proceso de acondicionado y lavado.

La especie *U. lactuca* cada vez está siendo más estudiada por sus usos potenciales como alimento animal y bioenergía, pero gran parte de su valor actual puede estar en el campo de la medicina dados los grandes beneficios que puede ofrecer.

Las algas verdes marinas subexplotadas pertenecientes a especies de *Ulva* promovieron el interés como fuentes de polisacáridos con estructura innovadora y propiedades funcionales (Lahaye y Robic, 2007).

Los oligosacáridos de *U. lactuca* son candidatos ideales que pueden usarse en productos farmacéuticos y alimentos funcionales para prevenir el envejecimiento (Xiao-yan *et al.*, 2019). Así mismo, el extracto de esta alga es rico en fenoles mostrando actividades antioxidantes y antiinflamatorias (Meenakshi *et al.*, 2009; Tao *et al.*, 2020).

*Ulva lactuca* también destaca por su contenido en carotenoides, derivados de las algas con uso por sus propiedades antioxidantes, entre otros, en cosméticos y en productos farmacéuticos (Christaki *et al.*, 2013).

Existen también antecedentes del empleo de *U. lactuca* en composiciones cosméticas con efecto *lifting* para mantener los tejidos de la piel relajados y reducir su flacidez (Guglielmo y Montanari, 2008).

Por otro lado, en el caso de contener elementos traza que fueran potencialmente tóxicos, el caolín facilita su atrapamiento, limitando o impidiendo su movilidad durante el proceso de maduración (Pozo Martín, 2013).

## Fracción Acuosa

El agua es un componente esencial del peloide, por su cantidad, por su capacidad calorífica y propiedades termofísicas, así como por proporcionar iones y sustancias disueltas que físico-químicamente pueden interactuar con la piel, siendo causantes de varios de sus resultados dermocosméticos.

En el desarrollo de la formulación cosmética, como dispersante de la suspensión, se empleó la fracción acuosa procedente de tomas de muestras de aguas mineromedicinales de origen marino del exterior de la Ría de Pontevedra. La temperatura del agua registrada en la zona de recogida fue de 15,2°C.

## Formulación de Peloides

### Acondicionamiento de materias primas y preparación de peloides

La recolección de algas marinas se llevó a cabo a continuación de la deposición de las algas sobre la zona litoral. Previamente a su uso, se acondicionó la fracción de *U. lactuca* retirando los materiales gruesos, conchas de moluscos, piedras u hojas mezcladas con las algas que se habían depositado o adherido a las mismas y que no deben formar parte del peloide. Las algas, una vez recolectadas, se lavaron para eliminar las arenas que pudieran contener, se escurrieron y se pesaron, constituyendo lo que se puede denominar alga fresca. Para la elaboración de los peloides se emplearon distintas cantidades en peso de alga fresca.

Tras el acondicionamiento del tamaño de las materias primas seleccionadas, se prepararon en condiciones preestablecidas diferentes peloides extemporáneos en laboratorio, mezclando los ingredientes en diferentes dosificaciones y controlando entre otros pH, textura, granulometría, composición y reología.

### Fase de Maduración

El tiempo de maduración influye significativamente en los peloides (Delgado et al., 2011). Se observó el proceso de maduración durante varios días. En este tiempo y como consecuencia de la profunda interacción entre las distintas fases implicadas y la actividad biológica generada y sus productos metabólicos se produjeron cambios significativos en las propiedades del peloide.

### Efecto cosmético

Analizando la textura de los peloides obtenidos desde un punto de vista fisicoquímico, es posible prever su comportamiento al aplicarlos sobre la piel del paciente. Para ello, se suelen tener en cuenta variables como la dureza, la capacidad de adhesión, la cohesión, la elasticidad y la textura instrumental. Además, dado que en este estudio se investigó su efecto a distintas temperaturas de administración se observó también el grado de tolerancia a dichas temperaturas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Para las elaboraciones y determinaciones se ha utilizado instrumental de laboratorio y equipamiento adecuado. Entre los equipos empleados cabe reseñar los siguientes:

- Equipo Micromeritics Sedigraph 5100. Analizador de tamaño de partícula (limo-arcilla), máximo tamaño de partícula por debajo de 0,063 mm.
- Equipo frigorífico de 77 L con congelador de 12 L incorporado (Marca New Pol, Modelo table top NW850P1).
- Equipo Gallenkamp Hotbox Oven Size 2 con control analógico de temperatura y volumen interno de 100 L. Funcionamiento por convección natural y radiación. Intervalo de temperatura de trabajo: 20-200°C.
- Equipo Retsch Mortar Grinder Type RM-0 para volúmenes de muestra entre 5 y 150 mL. Tamaño máximo de partícula inicial: 8 mm. Superficies de trabajo de ágata.
- Baño termostático de acero inoxidable SB series. Intervalo de temperatura: 5-150°C.

### Muestras para peloides

Se elaboraron muestras por duplicado de diferentes formulaciones de peloides extemporáneos partiendo de *U. lactuca* en fresco y denominadas M1, M2, M3, M4 y M5 con las composiciones y tiempos de maduración que se reflejan en la Tabla 6.

Tabla 6. Composición de los peloides elaborados.

% Fracción Orgánica	% Fracción Inorgánica	t <sub>mad</sub> (horas)	MUESTRA
33	67	24, 120	M1
38	62	24, 120	M2
50	50	24, 120	M3
69	31	24, 120	M4
77	23	24, 120	M5
38	62	24, 120	M6

Abreviatura: t<sub>mad</sub>: tiempo de maduración

Por otro lado, con el fin de ver el comportamiento en el peloide de las algas en seco, se desecó por convección en estufa una fracción de *U. lactuca*, obteniéndose un 8,5% de materia seca; la cual se molió finamente para reducir y homogeneizar su tamaño y así facilitar su integración dentro de la formulación del peloide (M6).

## Métodos analíticos

### Preparación de mezclas

Como ya se mencionó, la fracción biológica a base de *U. lactuca* se empleó en ensayos de formulación, tanto en húmedo, como en seco. En ambos casos, las muestras resultantes se homogeneizaron por agitación suave en el propio recipiente de mezcla (Figura 3).



Figura 3. Textura mostrada durante la elaboración de varias composiciones cosméticas para su empleo como peloides por vía tópica.

## Toma de muestras y proceso de maduración

Se tomó una porción representativa de cada peloide obtenido y se introdujo en un envase de vidrio hermético de 200 mL de capacidad dejándolo madurar el tiempo estipulado a temperatura ambiente. Así se obtuvieron diferentes composiciones cosméticas para su potencial uso como peloides.

## Fase de conservación

Finalizado el proceso de maduración, se conservaron los peloides refrigerados en nevera a 4°C.

## Acondicionado térmico

Las diferentes muestras se mantuvieron en recipiente de vidrio herméticamente cerrado. Previo a la aplicación del peloide sobre la piel del paciente, fue necesario que la temperatura de la muestra fuera la adecuada. Para ello, se llevó a cabo la inmersión de cada muestra en baño termostático hasta garantizar que el peloide se encontrara a la temperatura deseada.

## RESULTADOS

Se analizaron las propiedades más significativas de las formulaciones obtenidas (M1 a M6) tras 1 y 5 días de maduración a temperatura ambiente y tras acondicionarlas térmicamente a 39°C, determinándose las características que se reseñan a continuación.

Los peloides obtenidos fueron masas compactas y moldeables de fácil aplicación. Su color varió desde el blanco apagado hasta diferentes tonalidades de color verde, siendo más verdosos cuanto mayor fue el contenido de *U. lactuca*.

A nivel de reología, los peloides mostraron una alta homogeneidad y plasticidad lo que proporcionó una elevada adaptación a la superficie corporal sobre la que se pretendió aplicar. Presentaron la viscosidad adecuada, tanto para una buena manejabilidad y aplicación del peloide, como para potenciar la

capacidad térmica, la concentración iónica y la dilución de sus componentes orgánicos.

Mientras la caolinita presenta una capacidad de intercambio iónico (García Romero y Suárez Barrios, 2022) de 3-5 meq/100 g, la capacidad de retención de agua marina de estos peloides se encuentra entre el 19 y 40 % (en peso) y su pH se encuentra entre 5 y 6.

Por otro lado, en las muestras que incorporaron *U. lactuca* deshidratada y molida (M6) el porcentaje de agua retenida se incrementó hasta un 57%.

El olor de estas formulaciones fue prácticamente imperceptible, con ligeras tonalidades a mar en el caso de las formulaciones con mayor contenido en *U. lactuca*.

La formulación con mejores prestaciones resultó ser la denominada M1, conteniendo un 38-40 % de agua marina. A continuación, se seleccionó esta formulación elaborando en una segunda fase del estudio nuevas muestras de dicha composición para analizar la influencia, por un lado, de un mayor tiempo de maduración (2, 9 y 30 días) y, por otro, de una temperatura de administración superior (45°C) e inferior (20°C) a la ya estudiada.

Con dos días de maduración ya se apreciaron mejores prestaciones que con tan sólo 24 h de interacción.

## Administración

Se realizó un primer estudio preliminar aplicando el peloide directamente sobre la zona a tratar en forma de emplastos o envolturas. La aplicación se llevó a cabo de modo localizado sobre la piel del antebrazo de varios voluntarios con edades comprendidas entre 26 y 75 años. Se estableció el espesor de la capa de peloide a aplicar sobre la piel en aproximadamente 6 mm de grosor.

Se ensayaron dos temperaturas de administración (39°C y 45°C). A continuación, el antebrazo del paciente se envuelve en un textil impermeable y biodegradable que minimiza las pérdidas de calor. Y, dada la buena tolerancia



observada, el tiempo de exposición fue de 20 min para cada una de las formulaciones en donde el brazo permanecía en completo reposo.

Además de su administración en caliente a las dos temperaturas de consigna definidas (39°C y 45°C), se aplicó también sin calor (a 20°C), dado que cuando se presentan algunas alteraciones de la piel que van acompañadas de picor, o en contusiones recientes (para prevenir la hinchazón y el dolor), este tipo de formulaciones se suelen emplear en frío.

En la Tabla 7 se resumen las diferentes condiciones de ensayo para la formulación optimizada.

**Tabla 7.** Condiciones de maduración de la formulación optimizada y temperatura de aplicación sobre la piel.

MUESTRA	t <sub>mad</sub> (días)	T <sup>a</sup> <sub>admin</sub> (°C)	t <sub>admin</sub> (min)
M1A_39	2	39	20
M1A_45	2	45	20
M1A_20	2	20	20
M1B_39	9	39	20
M1B_45	9	45	20
M1B_20	9	20	20
M1C_39	30	39	20
M1C_45	30	45	20
M1C_20	30	20	20

**Abreviaturas:** t<sub>mad</sub>: tiempo de maduración; T<sup>a</sup><sub>admin</sub>: temperatura de administración del peloide; t<sub>admin</sub>: tiempo de administración sobre la piel

Todos los voluntarios mostraron buena tolerancia a la formulación administrada independientemente de la temperatura de aplicación y del tiempo de maduración. Así mismo, no reseñaron ningún efecto secundario adverso.

### Acción y efecto

Se constató un incremento en el nivel de humectación, especialmente significativo con alga fresca (M1 a M5); incrementándose la aspereza del peloide con la formulación a base alga seca (M6).

Todos los peloides mostraron una buena manejabilidad, cohesión y adherencia, siendo la formulación con 33% de *U. lactuca* fresca la de mejor comportamiento.

Se pudieron apreciar los efectos beneficiosos del peloide sobre la piel a nivel dermocosmético; destacando la limpieza y tersura en la zona de aplicación y acentuándose la sensación de confort del paciente con el incremento de la temperatura de aplicación del peloide.

## DISCUSIÓN

El empleo del caolín como fracción mineral proporciona en todas las formulaciones un efecto plastificante, lo que hace que el peloide elaborado alcance un muy elevado grado de manejabilidad que se traduce en una excelente aplicabilidad.

En el caso de emplear algas frescas, cuanto mayor es la concentración de *U. lactuca* en la formulación del peloide más materia orgánica tiene disponible, lo que se traduce con el tiempo en un mayor grado de lixiviación y un menor tiempo de conservación del peloide obtenido.

Por su parte, cuando se emplea el alga desecada y molida se incrementa considerablemente el tiempo de conservación del peloide ya madurado, no obstante, la textura de los peloides incrementa su aspereza.

El valor de pH de las diferentes formulaciones de peloides se encuentra siempre entre 5 y 6, algo fundamental para la piel, ya que no modifica el equilibrio fisiológico del manto cutáneo.

A la vista de los resultados, todo hace pensar que estos peloides extemporáneos se pueden elaborar sin grandes costes en grandes piscinas o tanques con su correspondiente proceso de maduración durante varios días. No obstante, lo idóneo sería ampliar la investigación con el correspondiente escalado del proceso.

El empleo de este tipo de productos como tratamiento debe ser siempre estipulado por el especialista; que será quién definirá el número de aplicaciones y la frecuencia. Así mismo, en función de la respuesta obtenida, decidirá las repeticiones de ciclos que sean necesarias en el futuro.

El uso de estas formulaciones de forma masiva se podría llevar a cabo a corto plazo mediante el ofrecimiento de tratamientos en Centros Termales. El termalismo encaja en el modelo de turismo seguro, de calidad y sostenible por el que se apuesta hoy en día en regiones de España como Galicia (Xunta de Galicia, 2021); pudiendo fomentar la desestacionalización de la oferta turística. Además, cabe mencionar como otro valor añadido que la estancia de pacientes en centros termales y el tratamiento con aguas mineromedicinales sulfuradas y peloides aplicados por vía tópica puede además reducir la presión arterial (Martínez Guillamón *et al.*, 2013).

Por otro lado, el empleo de algas en este tipo de formulaciones, ya sean obtenidas como recurso pesquero o como algas de arribazón recién depositadas, permite dar una solución viable económicamente a un recurso subexplotado y que, en ocasiones, lleva asociados problemas ambientales por afloramientos algales desmesurados.

## CONCLUSIONES

La elaboración de peloides extemporáneos empleando caolín y *Ulva lactuca* como fase sólida incrementa el valor añadido de ambos, proporcionando un peloide con una gran aplicabilidad y aportando al paciente elevadas prestaciones dermocósméticas.

El empleo conjunto de las fracciones referidas permite elaborar peloides específicos de altas prestaciones, que se pueden consolidar como seña de identidad de cualquier centro termal que tenga acceso por su ubicación a la recolección de algas de la especie *U. lactuca*.

La formulación óptima resultó ser aquella que incorpora un 33% de *U. lactuca* fresca en el sustrato sólido con una capacidad de retención de agua marina de un 40% en peso del peloide y madurada un mínimo de 48 h; obteniéndose los mejores resultados con su administración a temperaturas entre 39°C y 45°C.

Por otro lado, el empleo de *U. lactuca* en la formulación de peloides puede proporcionar efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antibacterianos, no obstante, se debe llevar a cabo el correspondiente estudio a nivel clínico para evaluar y cuantificar dichas propiedades.

El termalismo al día de hoy presenta una alta capacidad como recurso para diversificar y desestacionalizar la oferta turística, pudiendo incluir este tipo de formulaciones en su oferta de cara a afianzarse como destino de bienestar y salud.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado parcialmente por la Xunta de Galicia (España) a través de la cofinanciación del contrato del autor al amparo de la Resolución de la Agencia Galega de Innovación – GAIN del 29 de mayo de 2019 (Programa Talento Sénior).

## REFERENCIAS

- Armijo Castro, F. y Maraver Eyzaguirre, F. (2006). Granulometría y textura de los peloides españoles. *Anales de Hidrología Médica*. 1, 79-96.
- Awad, M. E., López-Galindo, A, Setti, M., El-Rahmany, M. M. y Viseras Iborra, C. (2017). Kaolinite in pharmaceutics and biomedicine. *International Journal of Pharmaceutics*, 533(1): 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.09.056>
- Bartolomé, J. F. (1997). El Caolín: Composición, estructura, génesis y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 36(1), 7-19. <http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf>

- Carabelli, A, De Bernardi di Valserra, G, De Bernardi di Valserra, M., Tripodi, S., Bellotti, E., Pozzi, R. *et al.* (1998). Effetti dell'uso di un fango termale su cute normale, secca e seborroica. *Clin Ter.* 149(4), 271-275.
- Carretero León, M. I. (2005). Propiedades de los minerales utilizados en medicina estética y balnearios. *Revista Científica de la Sociedad Española de Medicina Estética*, 5, 30-35.
- Christaki, E., Bonos, E., Giannenas, I. y Florou-Paneri, P. (2013). Functional properties of carotenoids originating from algae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(1), 5-11. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5902>
- Delgado, R., Fernández-González, M. V., Gámiz, E., Martín-García, J. M., Márquez R. y Delgado Calvo-Flores, G. (2011). Evolución de la ultramicrofábrica de los peloïdes en el proceso de maduración. *Anales de Hidrología Médica*, 4, 81-91. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_ANHM.2011.v4.38347](http://dx.doi.org/10.5209/rev_ANHM.2011.v4.38347)
- Fernández Torán, M. A. (2014). Propiedades físico-químicas de materiales susceptibles de ser utilizados en la preparación de peloïdes. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España. 250 pp.
- García Romero, E. y Suárez Barrios, M. (s.f.). Las arcillas: Propiedades y usos. Universidad Complutense de Madrid y Universidad de Salamanca, España. 25 pp. <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>
- Gomes, C., Carretero, M. I., Pozo, M., Maraver, F., Cantista, P., Armijo, F. *et al.* (2013). Peloids and pelotherapy: Historical evolution, classification and glossary. *Applied Clay Science*, 75-76, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.02.008>
- Guglielmo, M. y Montanari, D. (2008). Cosmetic composition with a lifting effect for sustaining relaxed tissues. Patent WO2008146116 A2.
- Lahaye, M. y Robic, A. (2007). Structure and functional properties of Ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. *Biomacromolecules*, 8(6), 1765-1774. <https://doi.org/10.1021/bm061185q>

- Martínez Guillamón, M. R., Abellán Huerta, J., Leal Hernández, M., Gómez Jara, P., Ortín Ortín, E. J. y Abellán Alemán, J. (2013). Influencia de la balneoterapia sobre la presión arterial. *Estudio Balneotens. Hipertensión y riesgo vascular*, 30(3), 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.hipert.2013.04.002>
- Meenakshi, S., Manicka Gnanambigai, D., Tamil Mozhi, S., Arumugam, M. y Balasubramanian, T. (2009). Total flavanoid and *in vitro* antioxidant activity of two seaweeds of Rameshwaram coast. *Global Journal of Pharmacology*, 3(2), 59-62. [http://www.idosi.org/gjp/3\(2\)09/1.pdf](http://www.idosi.org/gjp/3(2)09/1.pdf)
- Miranda, F. (1934), Materiales para una flora marina de las rías bajas gallegas. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 34, 165-180.
- Pereira, L. (2018). Review: Seaweeds as source of bioactive substances and skin care therapy—cosmeceuticals, algotherapy, and thalassotherapy. *Cosmetics*, 5(4), 68. <https://doi.org/10.3390/cosmetics5040068>
- Pozo Martín, E. (2013). Interacción entre materiales arcillosos y aguas minerales en la preparación de peloides: análisis y evaluación de sus efectos en la salud humana. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, España. 435 pp.
- Rosino-Rosino, J., Legido-Soto, J. L., Mourelle-Mosqueira, M. L., Gómez-Pérez, C. P. y Navarro-García, J. R. (2021). Pelotherapy: History, characteristics and properties. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, 17, 111–130. <https://doi.org/10.17561/at.17.4932>
- Tao, T., Ya-Juan, L., Ping, Z. y Seong-Gook, K. (2020). Antioxidant, anti-inflammatory, and  $\alpha$ -amylase inhibitory activities of *Ulva lactuca* extract. *Korean J. Food Preserv.*, 27(4), 513-521. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2020.27.4.513>
- Vinoj Kumar, V. and Kaladharan, P. (2007). Amino acids in the seaweeds as an alternate source of protein for animal feed. *J. Mar. Biol. Ass. India*, 49(1), 35-40.
- Viseras, C., Aguzzi, C., Cerezo, P. y Lopez-Galindo, A. (2007). Uses of clay minerals in semisolid health care and therapeutic products. *Applied Clay Science*, 36(1–3), 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.07.006>

Xiao-yan, L., Dan, L., Guo-peng, L., Yi-jing, W., Lu-ying, G., Chao, A. *et al.* (2019). Anti-ageing and antioxidant effects of sulfate oligosaccharides from green algae *Ulva lactuca* and *Enteromorpha prolifera* in SAMP8 mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.195>

Xunta de Galicia. (2021), Vicepresidencia primera y C. de Presidencia, Justicia y Turismo de la Xunta de Galicia. Plan Director 2021-2023 - Galicia destino seguro. Xacobeo 21-22. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia; 2021. 183 pp.



# Retrotransposón Steamer y su aplicación como biomarcador en moluscos bivalvos

## Retrotransposon Steamer and its application as a biomarker in bivalve mollusks

Milton Montúfar-Romero<sup>1-4</sup>, Valentina Valenzuela-Muñoz<sup>5</sup>,  
Alonzo Alfaro-Núñez<sup>6,7</sup>, Lenin Cáceres-Farías<sup>8-10</sup>,  
María Mercedes Espinoza-Vera<sup>8,9</sup>, Cristian Gallardo-Escárate<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doctorado en Ciencias con mención en Manejo de Recursos Acuáticos Renovables (MaReA), Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción 4030000, Chile.

<sup>2</sup>Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP), Guayaquil 090314, Ecuador.

<sup>3</sup>Laboratorio de Biotecnología y Genómica Acuícola. Universidad de Concepción, Concepción 4030000, Chile.

<sup>4</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación en Acuicultura Sustentable (INCAR), Universidad de Concepción, Concepción 4030000, Chile.

<sup>5</sup>Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias de la Naturaleza, Universidad San Sebastián, Concepción 4030000, Chile

<sup>6</sup>Department of Clinical Biochemistry, Naestved Hospital, Ringstedgade 57a, 4700 Naestved, Denmark.

<sup>7</sup>Section for Evolutionary Genomics, GLOBE Institute, University of Copenhagen, Øster Farimagsgade 5, 1353 Copenhagen K, Denmark.

<sup>8</sup>AquaCEAL Corporation, Urb. Las Palmeras, Ave. Capitán Byron Palacios & General Quisquis, #8, EC230101 Santo Domingo de los Colorados, Ecuador.

<sup>9</sup>Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos, Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar, Universidad Técnica de Manabí, Calle Gonzalo Loor Velasco, EC131459 Bahía de Caráquez, Ecuador.

<sup>10</sup>Maestría de Investigación en Acuicultura, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador.

Correspondencia   [crisgallardo@udec.cl](mailto:crisgallardo@udec.cl)



Palabras clave | Elementos transponibles, transposones, genómica.

**RESUMEN** | Los elementos transponibles (ET) son secuencias de ADN dinámicas que pueden movilizarse dentro del genoma, alterando la expresión génica y la estructura del ADN. Se clasifican en transposones de ADN y retrotransposones, estos últimos utilizando un intermediario de ARN para su transposición. La comprensión del impacto de los retrotransposones en la salud y evolución de los organismos, así como su potencial aplicación en biotecnología y conservación, sigue siendo un área de investigación activa. El objetivo principal de esta investigación es proponer el uso del retrotransposón Steamer como biomarcador en moluscos bivalvos. Se realizó una revisión bibliográfica utilizando la base de datos Web of Science (WOS), aplicando combinaciones de palabras clave relacionadas con el retrotransposón Steamer, biomarcador y moluscos bivalvos. Se analizaron 42 fuentes bibliográficas para construir el marco teórico del estudio. La revisión bibliográfica reveló información suficiente para sugerir la viabilidad teórica del uso del retrotransposón Steamer como biomarcador en moluscos bivalvos, lo cual requiere validación en estudios futuros. El uso del retrotransposón Steamer como biomarcador tiene importantes implicaciones para la acuicultura y la conservación de moluscos bivalvos. Su aplicación podría facilitar la detección temprana de neoplasias, la evaluación de la respuesta a estrés ambiental y la monitorización de la salud de las poblaciones de moluscos. Esta información contribuiría a mejorar las prácticas de manejo y conservación de estos organismos.

Keywords | Transposable elements, transposons, genomics.

**ABSTRACT** | Transposable elements (TEs) are dynamic DNA sequences that can move within the genome, altering gene expression and DNA structure. They are classified into DNA transposons and retrotransposons, the latter utilizing an RNA intermediate for transposition. Understanding the impact of retrotransposons on the health and evolution of organisms, as well as their potential application in biotechnology and conservation, remains an active area of research. The main objective of this study is to propose the use of the retrotransposon Steamer as a biomarker in bivalve mollusks. A comprehensive literature review was conducted using the Web of Science (WOS) database, applying combinations of keywords related to the retrotransposon Steamer, biomarker, and bivalve mollusks.

Forty-two bibliographic sources were analyzed to construct the theoretical framework of the study. The literature review revealed sufficient information to suggest the theoretical viability of using the retrotransposon Steamer as a biomarker in bivalve mollusks, which requires validation in future studies. The use of the retrotransposon Steamer as a biomarker has significant implications for aquaculture and the conservation of bivalve mollusks. Its application could facilitate the early detection of neoplasias, the evaluation of the response to environmental stress, and the monitoring of the health of mollusk populations. This information could contribute to improving the management and conservation practices of these organisms.

## ELEMENTOS TRANSPONIBLES

Los elementos transponibles (ET) constituyen fracciones de ADN que pueden moverse a través del genoma utilizando un intermediario de ADN o un intermediario de ARN (Galindo-González *et al.*, 2017). Los ET se clasifican en transposones y retrotransposones (Goodier & Kazazian, 2008). Los ET son elementos genéticos "egoístas", ya que generan nuevas copias de sí mismos dentro de los genomas de sus células anfitrionas (Metzger *et al.*, 2018). Son fragmentos de secuencias genómicas capaces de moverse y cambiar de posición dentro del genoma (Mita & Boeke, 2016). No contribuyen positivamente en la reproducción del virus de estudio, sin embargo, son heredados verticalmente durante la replicación (Metzger *et al.*, 2018; Nina & Jeffrey, 2013). Se ha estimado que representan entre el 2 y el 8% del genoma de los moluscos (Simakov *et al.*, 2013; Thomas-Bulle *et al.*, 2018). Las especies cercanas tienen un contenido similar de ET (Guner & Gozukirmizi, 2018). Los ET son capaces de alterar la estructura general de los genes funcionales (Guner & Gozukirmizi, 2018; Nina & Jeffrey, 2013).

Anteriormente los ET se clasificaban como ADN parásito o basura, sin embargo, nuevas investigaciones muestran que desempeñan un papel importante en el genoma y en la evolución del genoma (Margaret & Damon, 2001; Bennetzen & Wang, 2014; Guner & Gozukirmizi, 2018). Los ET crean variación genética a través de su movilidad por medio de la barajadura de exones (exon shuffling), reordenamientos genómicos, captura de genes, modificaciones de la cromatina

por mecanismos epigenéticos y recombinación (Margaret & Damon, 2001; Sharma *et al.*, 2013; Vitte *et al.*, 2014; Galindo-González *et al.*, 2017; Guner & Gozukirmizi, 2018). La inserción del elemento transponible cerca o en el gen ha demostrado la capacidad de alterar la función del gen (Xiao *et al.*, 2008; Galindo-González *et al.*, 2017). Además, puede producir nuevas funciones mediante el control de promotores alternativos, el silenciamiento del gen y el empalme alternativo (Xiao *et al.*, 2008; Galindo-González *et al.*, 2017). Los ET se encuentran entre las regiones más variables del genoma (Nina & Jeffrey, 2013; Guner & Gozukirmizi, 2018).

Se ha demostrado que los transposones de ADN se replican mediante mecanismos de corte y pegado (Goodier & Kazazian, 2008). Los transposones se encuentran a lo largo de todo el genoma en eucariontes (Arriagada *et al.*, 2014). Hay informes de transferencia horizontal de ET entre plantas y artrópodos (Lin *et al.*, 2016; Metzger *et al.*, 2018). Además, entre aves y nemátodos (Lin *et al.*, 2016; Metzger *et al.*, 2018), y también se han identificado transferencia de ET en *Penaeus vannamei*, entre otros organismos marinos (Metzger *et al.*, 2018; Wang & Liu, 2016).

Los retrotransposones están presentes en el ADN genómico y se replican mediante la transcripción inversa de una transcripción de ARNm a partir de una copia de ADN presente en el genoma del organismo, luego se integra en una nueva ubicación en el ADN genómico de la célula (Altschul *et al.*, 1990; Goodier & Kazazian, 2008; Paynter *et al.*, 2017). Se ha demostrado que los retrotransposones aumentan su cantidad de copias por retrotransposición intracelular al aumentar el número de inserciones en el genoma de la célula en las células somáticas y germinales (Goodier, 2014; Kemp & Longworth, 2015). En las células somáticas, el aumento del número de copias de Steamer ha mostrado ser la causa de mutaciones y neoplasia diseminada contribuyendo a su evolución (Metzger *et al.*, 2018). Mientras que en células germinales, provoca un aumento en el número de copias de la línea germinal de la especie que lo alberga (Goodier, 2014; Kemp & Longworth, 2015).

Los retrotransposones muestran una historia evolutiva exitosa como lo demuestra su amplia distribución filogenética (Piednoël *et al.*, 2011; Ivancevic *et al.*, 2016). Los retrotransposones identificados en las plantas son capaces de integrarse en el genoma de los animales y los seres humanos por transferencia

(Guner & Gozukirmizi, 2018). Además, se ha informado de la transferencia horizontal de retrotransposones de repetición terminal larga entre hongos y plantas (Novikova *et al.*, 2010; Metzger *et al.*, 2018). El medio marino es más favorable para la transmisión de retrotransposones que el medio terrestre (Metzger *et al.*, 2018). Los retrotransposones carecen del gen retroviral *env*, que codifica para una proteína que forma parte de la envoltura viral, por lo que no son capaces de transferirse entre células como lo hacen los retrovirus (Paynter *et al.*, 2017). El mismo retrotransposón ha sido encontrado en diferentes especies (Cakmak *et al.*, 2015). Además, el mismo retrotransposón ha mostrado diferentes polimorfismos en diferentes órganos del mismo huésped (Yilmaz *et al.*, 2014).

Se han caracterizado tres superfamilias de retrotransposones de cadena terminal larga, Copia, BEL/Pao, y Gypsy (Thomas-Bulle *et al.*, 2018). La superfamilia Gypsy es la más abundante, encontrándose en el mayor número de especies analizadas y con un gran número de copias en el genoma (Thomas-Bulle *et al.*, 2018). La superfamilia Gypsy está diversificada en numerosas familias y clados (Thomas-Bulle *et al.*, 2018). Los retrotransposones de cadena terminal larga están flanqueados por secuencias entre 100 y 500 pb de largo repetidas (Thomas-Bulle *et al.*, 2018). La cadena terminal larga contiene regiones promotoras y reguladoras que intervienen en el ciclo de transposición (Xiong & Eickbush, 1990; McClure, 1991). Esta característica relaciona los retrotransposones de cadena terminal larga con los retrovirus (Xiong & Eickbush, 1990; McClure, 1991).

El retrotransposón de cadena terminal larga denominado Steamer pertenece a la familia de retrotransposones Mag de la familia Ty3/gypsy (Paynter *et al.*, 2017). El retrotransposón Steamer contiene un marco de lectura abierto situado en el nucleótido 1355 que codifica para los genes *gag* y *pol* (Gao *et al.*, 2003; Metzger *et al.*, 2018; Paynter *et al.*, 2017). El gen *gag* codifica las proteínas implicadas en la formación de partículas similares a las del virus (Thomas-Bulle *et al.*, 2018). El gen *pol* codifica varios dominios de proteínas como una proteasa, una integrasa, una transcriptasa inversa, y una ribonucleasa H, que participan en el mecanismo de transposición (Thomas-Bulle *et al.*, 2018). Los dominios de la transcriptasa inversa y la ribonucleasa H son consecutivos y adyacentes, por lo tanto, se agrupan en una sola secuencia RT/ RNasaH (Thomas-Bulle *et al.*, 2018).

## RETROTRANSPOSÓN STEAMER

El retrotransposón Steamer tiene 4968 pb (Metzger *et al.*, 2018). Se caracteriza por ser retrotranscrito e integrado por mecanismos similares a los retrovirus (Arriagada *et al.*, 2014). La expresión de esta familia de retrotransposones está mediada por elementos intracelulares similares a los viriones, que participan en la transcripción inversa y la integración del ADN en el genoma de la célula (Arriagada *et al.*, 2014). El retrotransposón Steamer ha adquirido un gen de envoltura que lo convierte funcionalmente en un retrovirus (Song *et al.*, 1994; Arriagada *et al.*, 2014; Metzger *et al.*, 2018).

El retrotransposón Steamer muestra un comportamiento similar a la hipótesis de la Reina Roja (Correspondent, 1973; Thomas-Bulle *et al.*, 2018). La dinámica evolutiva del ciclo de vida del virus se ve afectada por la virulencia y la infectividad del agente infeccioso (Dujon *et al.*, 2020). La virulencia de la enfermedad debe permitir vivir al chorito (*Mytilus chilensis*) hasta que las células neoplásicas puedan transmitirse a otro huésped para poder transmitir la neoplasia (Dujon *et al.*, 2020). Una alta densidad de células neoplásicas en el hospedador aumenta la cantidad de células neoplásicas en el área circulante (Lootvoet *et al.*, 2013; Dujon *et al.*, 2020). Esto incrementa la probabilidad de encuentro accidental con huéspedes alternativos que pueden ser de la misma o de especies diferentes (Lootvoet *et al.*, 2013; Dujon *et al.*, 2020). Se ha planteado que las células neoplásicas transmisibles tienen la capacidad de mutar para infectar a otras especies de moluscos bivalvos con el objetivo de asegurar su supervivencia y reducir el riesgo de depender de una sola especie de hospedador (Bush & Kennedy, 1994; Koh *et al.*, 2004; Dujon *et al.*, 2020).

Los elementos similares al retrotransposón Steamer identificados en 19 especies de moluscos bivalvos están en desacuerdo con la filogenia del huésped (Metzger *et al.*, 2018). Esto sugiere una transferencia frecuente de estos elementos entre las especies de moluscos bivalvos a lo largo de su evolución (Metzger *et al.*, 2018). También muestra que los retrotransposones similares al Steamer son capaces de moverse entre diferentes especies e integrarse al genoma del huésped como los retrovirus (Metzger *et al.*, 2018). Por otra parte, se ha establecido un alto nivel de la transcriptasa inversa en hemocitos de *Mya arenaria* con neoplasia diseminada

transmisible, característica de los retrovirus y retroelementos como el retrotransposón Steamer (Arriagada et al., 2014).

## RETROTRANSPÓSÓN STEAMER COMO BIOMARCADOR

Se estima que la primera transmisión de Steamer en *M. arenaria* ocurrió hace 800 años (Kemp & Longworth, 2015; Metzger et al., 2018). Su expresión aumenta en muestras de hemolinfa con altos niveles de neoplasia, donde se han encontrado entre 100 y 300 copias de Steamer por genoma haploide, en comparación con las 2 a 10 copias en moluscos sin neoplasia (Arriagada et al., 2014; Metzger et al., 2016). Esta correlación entre la expresión de Steamer y la progresión de la enfermedad sugiere que la transmisión de un linaje clonal de células neoplásicas de *M. arenaria* a *M. chilensis*, como se ha propuesto, podría ser la causa de la neoplasia diseminada en esta especie (Metzger et al., 2015; Mateo et al., 2016)

El retrotransposón Steamer está presente en moluscos bivalvos no relacionados como *Ensis directus* y *Macoma balthica* (Paynter et al., 2017), lo que indica su reciente transferencia (Metzger et al., 2018). La presencia del retrotransposón Steamer en las familias de moluscos bivalvos Myidae, Tellinidae y Pharidae sugiere que existe poca diversidad filogenética que pueda representar una barrera para su transmisión (Paynter et al., 2017). Casualmente, las tres especies de moluscos bivalvos en que se ha encontrado el retrotransposón Steamer se alimentan por filtración (Schaack et al., 2010; Paynter et al., 2017). Además, tienen distribuciones ecológicas y hábitats similares (Schaack et al., 2010; Paynter et al., 2017). Se ha registrado la transferencia de Steamer de *E. directus* a *M. arenaria* y *L. balthica* (Metzger et al., 2018). Además, se han transferido elementos similares a Steamer desde *C. edule* a *M. edulis* y *E. directus* (Metzger et al., 2018). En el mejillón cebrado de agua dulce se ha identificado un elemento similar a Steamer 66% idéntico al de *C. edule*, esto demuestra la baja probabilidad de que la transferencia sea reciente (Metzger et al., 2018).

Elementos similares a Steamer se encuentran presentes en la selección y pueden impulsar cambios evolutivos de los moluscos bivalvos (Metzger et al., 2018; Tiwari et al., 2018). Además, se han encontrado transferencias entre diferentes filos de organismos marinos como vertebrados, erizos de mar y corales (Metzger et al.,

2018). Elementos similares a Steamer han sido descritos en la herencia vertical de equinoideos y moluscos bivalvos (Metzger *et al.*, 2018). Los elementos similares a Steamer están presentes en los genomas de organismos no relacionados como el pez cebra y los gusanos bellota (Guner & Gozukirmizi, 2018). Es necesario investigar la presencia o ausencia del retrotransposón Steamer en otras especies de moluscos bivalvos de aguas profundas porque su comportamiento sugiere una expansión a corto plazo (Paynter *et al.*, 2017). Todavía se desconocen las consecuencias de la amplificación del retrotransposón Steamer en bivalvos, pero es probable que pueda causar neoplasia diseminada y otras patologías (Paynter *et al.*, 2017). Existe evidencia que el gen *p53*, responsable de la apoptosis, controla la expresión de retrotransposones, y por consiguiente la oncogénesis (Lesser *et al.*, 2019). Por lo tanto, el retrotransposón Steamer puede ser utilizado como biomarcador en la detección del desarrollo y transmisión de neoplasia en moluscos bivalvos (Lesser *et al.*, 2019; Farhat *et al.*, 2022).

Los retrotransposones intervienen en la regulación de la expresión génica (Casacuberta & González, 2013). Además, son susceptibles y se expresan en respuesta a cambios ambientales para que el organismo pueda adaptarse y sobrevivir en condiciones de estrés (Casacuberta & González, 2013). Por ejemplo, juveniles de *M. arenaria* fueron expuestas a condiciones de acidificación del océano con un pH bajo de 7.9 previsto para el año 2100 y todas las almejas expresaron significativamente el retrotransposón Steamer (Lesser *et al.*, 2019).

## PERSPECTIVAS

Se deben realizar estudios adicionales para desarrollar el potencial del retrotransposón Steamer como marcador molecular. El objetivo de futuras investigaciones puede estar centradas en la aplicación del retrotransposón Steamer como biomarcador candidato para identificar neoplasia; determinar la sensibilidad y susceptibilidad de los moluscos bivalvos a condiciones de estrés ambiental y cambios evolutivos generados para sobrevivir a condiciones de estrés. Por consiguiente *M. chilensis* es un modelo atractivo para investigar la aplicación del retrotransposón Steamer como biomarcador.

## Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al apoyo financiero de ANID-Chile, FONDAF 1523A0007 y FONDECYT #1210852. La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) - Ecuador / Contrato Nro. CZ05-000735-2018, así como la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) – Chile / Subdirección de Capital Humano / Beca de Doctorado Nacional 2019 - Folio 21190791 y el Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) – Ecuador.

## REFERENCIAS

- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *J Mol Biol*, 215(3), 403-410. [https://doi.org/10.1016/s0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/s0022-2836(05)80360-2)
- Arriagada, G., Metzger, M. J., Muttray, A. F., Sherry, J., Reinisch, C., Street, C., . . . Goff, S. P. (2014). Activation of transcription and retrotransposition of a novel retroelement, Steamer, in neoplastic hemocytes of the mollusk *Mya arenaria*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(39), 14175. <https://doi.org/10.1073/pnas.1409945111>
- Bennetzen, J. L., & Wang, H. (2014). The contributions of transposable elements to the structure, function, and evolution of plant genomes. *Annu Rev Plant Biol*, 65, 505-530. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035811>
- Bush, A. O., & Kennedy, C. R. (1994). Host fragmentation and helminth parasites: hedging your bets against extinction. *Int J Parasitol*, 24(8), 1333-1343. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(94\)90199-6](https://doi.org/10.1016/0020-7519(94)90199-6)
- Cakmak, B., Marakli, S., & Gozukirmizi, N. (2015). SIRE1 RETROTRANSPOSONS IN BARLEY (*Hordeum vulgare* L.). *Genetika*, 51(7), 775-786. <https://doi.org/10.7868/s0016675815070024>



- Casacuberta, E., & González, J. (2013). The impact of transposable elements in environmental adaptation. *Molecular Ecology*, 22(6), 1503-1517.
- Correspondent, A. (1973). The Red Queen. *Nature*, 245(5425), 353-354. <https://doi.org/10.1038/245353a0>
- Dujon, A. M., Gatenby, R. A., Bramwell, G., MacDonald, N., Dohrmann, E., Raven, N., . . . Ujvari, B. (2020). Transmissible Cancers in an Evolutionary Perspective. *iScience*, 23(7), 101269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101269>
- Farhat, S., Bonnavard, E., Pales, E., Tanguy, A., Boutet, I., Guiglielmoni, N., . . . Allam, B. (2022). Comparative analysis of the *Mercenaria mercenaria* genome provides insights into the diversity of transposable elements and immune molecules in bivalve mollusks. *BMC Genomics*, 23(1), 192. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08262-1>
- Galindo-González, L., Mhiri, C., Deyholos, M. K., & Grandbastien, M.-A. (2017). LTR-retrotransposons in plants: Engines of evolution. *Gene*, 626, 14-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gene.2017.04.051>
- Gao, X., Havecker, E. R., Baranov, P. V., Atkins, J. F., & Voytas, D. F. (2003). Translational recoding signals between gag and pol in diverse LTR retrotransposons. *Rna*, 9(12), 1422-1430. <https://doi.org/10.1261/rna.5105503>
- Goodier, J. L. (2014). Retrotransposition in tumors and brains. *Mobile DNA*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.1186/1759-8753-5-11>
- Goodier, J. L., & Kazazian, H. H. (2008). Retrotransposons Revisited: The Restraint and Rehabilitation of Parasites. *Cell*, 135(1), 23-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cell.2008.09.022>
- Guner, B. C., & Gozukirmizi, N. (2018). Origin and distribution of different retrotransposons in different taxa. *Genetics & Applications; Vol 2 No 2 (2018)DO - 10.31383/ga.vol2iss2pp13-19*.

- Ivancevic, A. M., Kortschak, R. D., Bertozzi, T., & Adelson, D. L. (2016). LINES between species: Evolutionary dynamics of LINE-1 retrotransposons across the eukaryotic tree of life. *bioRxiv*, 050880. <https://doi.org/10.1101/050880>
- Kemp, J. R., & Longworth, M. S. (2015). Crossing the LINE Toward Genomic Instability: LINE-1 Retrotransposition in Cancer. *Front Chem*, 3, 68. <https://doi.org/10.3389/fchem.2015.00068>
- Koh, L. P., Dunn, R. R., Sodhi, N. S., Colwell, R. K., Proctor, H. C., & Smith, V. S. (2004). Species coextinctions and the biodiversity crisis. *Science*, 305(5690), 1632-1634. <https://doi.org/10.1126/science.1101101>
- Lesser, M., Thompson, M., & Walker, C. (2019). Effects of Thermal Stress and Ocean Acidification on the Expression of the Retrotransposon *Steamer* in the Softshell *Mya arenaria*. *Journal of Shellfish Research*, 38(3), 535-541. <https://doi.org/10.2983/035.038.0304>
- Lin, X., Faridi, N., & Casola, C. (2016). An Ancient Transkingdom Horizontal Transfer of Penelope-Like Retroelements from Arthropods to Conifers. *Genome biology and evolution*, 8(4), 1252-1266. <https://doi.org/10.1093/gbe/evw076>
- Lootvoet, A., Blanchet, S., Gevrey, M., Buisson, L., Tudesque, L., & Loot, G. (2013). Patterns and processes of alternative host use in a generalist parasite: insights from a natural host–parasite interaction [<https://doi.org/10.1111/1365-2435.12140>]. *Functional Ecology*, 27(6), 1403-1414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2435.12140>
- Margaret, G. K., & Damon, R. L. (2001). PERSPECTIVE: TRANSPOSABLE ELEMENTS, PARASITIC DNA, AND GENOME EVOLUTION. *Evolution*, 55(1), 1-24. [https://doi.org/10.1554/0014-3820\(2001\)055\[0001:PTEPDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1554/0014-3820(2001)055[0001:PTEPDA]2.0.CO;2)
- Mateo, D. R., MacCallum, G. S., & Davidson, J. (2016). Field and laboratory transmission studies of haemic neoplasia in the soft-shell clam, *Mya arenaria*, from Atlantic Canada [<https://doi.org/10.1111/jfd.12426>]. *Journal of Fish Diseases*, 39(8), 913-927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfd.12426>

- McClure, M. A. (1991). Evolution of retroposons by acquisition or deletion of retrovirus-like genes. *Molecular Biology and Evolution*, 8(6), 835-856. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040686>
- Metzger, M. J., Paynter, A. N., Siddall, M. E., & Goff, S. P. (2018). Horizontal transfer of retrotransposons between bivalves and other aquatic species of multiple phyla. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 115(18), E4227-E4235. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717227115>
- Metzger, Michael J., Reinisch, C., Sherry, J., & Goff, Stephen P. (2015). Horizontal Transmission of Clonal Cancer Cells Causes Leukemia in Soft-Shell Clams. *Cell*, 161(2), 255-263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.02.042>
- Metzger, M. J., Villalba, A., Carballal, M. J., Iglesias, D., Sherry, J., Reinisch, C., . . . Goff, S. P. (2016). Widespread transmission of independent cancer lineages within multiple bivalve species. *Nature*, 534(7609), 705-709. <https://doi.org/10.1038/nature18599>
- Mita, P., & Boeke, J. D. (2016). How retrotransposons shape genome regulation. *Current opinion in genetics & development*, 37, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.gde.2016.01.001>
- Nina, F., & Jeffrey, B. (2013). Transposons, Genomic Shock, and Genome Evolution. In *Plant Transposons and Genome Dynamics in Evolution*.
- Novikova, O., Smyshlyaev, G., & Blinov, A. (2010). Evolutionary genomics revealed interkingdom distribution of Tcn1-like chromodomain-containing Gypsy LTR retrotransposons among fungi and plants. *BMC genomics*, 11, 231-231. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-231>
- Paynter, A. N., Metzger, M. J., Sessa, J. A., & Siddall, M. E. (2017). Evidence of horizontal transmission of the cancer-associated Steamer retrotransposon among ecological cohort bivalve species. *Dis Aquat Organ*, 124(2), 165-168. <https://doi.org/10.3354/dao03113>

- Piednoël, M., Gonçalves, I. R., Higuët, D., & Bonnivard, E. (2011). Eukaryote DIRS1-like retrotransposons: an overview. *BMC genomics*, 12, 621-621. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-621>
- Schaack, S., Gilbert, C., & Feschotte, C. (2010). Promiscuous DNA: horizontal transfer of transposable elements and why it matters for eukaryotic evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(9), 537-546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.06.001>
- Sharma, A., Wolfgruber, T. K., & Presting, G. G. (2013). Tandem repeats derived from centromeric retrotransposons. *BMC Genomics*, 14, 142. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-142>
- Simakov, O., Marletaz, F., Cho, S. J., Edsinger-Gonzales, E., Havlak, P., Hellsten, U., . . . Rokhsar, D. S. (2013). Insights into bilaterian evolution from three spiralian genomes. *Nature*, 493(7433), 526-531. <https://doi.org/10.1038/nature11696>
- Song, S. U., Gerasimova, T., Kurkulos, M., Boeke, J. D., & Corces, V. G. (1994). An env-like protein encoded by a Drosophila retroelement: evidence that gypsy is an infectious retrovirus. *Genes Dev*, 8(17), 2046-2057. <https://doi.org/10.1101/gad.8.17.2046>
- Thomas-Bulle, C., Piednoël, M., Donnart, T., Filée, J., Jollivet, D., & Bonnivard, É. (2018). Mollusc genomes reveal variability in patterns of LTR-retrotransposons dynamics. *BMC Genomics*, 19(1), 821. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5200-1>
- Tiwari, B., Jones, A., & Abrams, J. (2018). Transposons, p53 and Genome Security. *Trends in genetics*, 34(11), 846-855. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2018.08.003>
- Vitte, C., Fustier, M. A., Alix, K., & Tenaillon, M. I. (2014). The bright side of transposons in crop evolution. *Brief Funct Genomics*, 13(4), 276-295. <https://doi.org/10.1093/bfgp/elu002>

- Wang, X., & Liu, X. (2016). Close ecological relationship among species facilitated horizontal transfer of retrotransposons. *BMC evolutionary biology*, 16(1), 201-201. <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0767-0>
- Xiao, H., Jiang, N., Schaffner, E., Stockinger, E. J., & van der Knaap, E. (2008). A Retrotransposon-Mediated Gene Duplication Underlies Morphological Variation of Tomato Fruit. *Science*, 319(5869), 1527. <https://doi.org/10.1126/science.1153040>
- Xiong, Y., & Eickbush, T. H. (1990). Origin and evolution of retroelements based upon their reverse transcriptase sequences. *Embo j*, 9(10), 3353-3362.
- Yilmaz, S., Marakli, S., & Gozukirmizi, N. (2014). BAGY2 Retrotransposon Analyses in Barley Calli Cultures and Regenerated Plantlets. *Biochemical Genetics*, 52(5), 233-244. <https://doi.org/10.1007/s10528-014-9643-z>



# Efecto del uso de nisina en la bioconservación y características sensoriales de filetes de corvina *Cynoscion albus*

## Effect of the use of nisin on the biopreservation and sensory characteristics of croaker fillets *Cynoscion albus*

Gerardo J. Cuenca-Nevárez<sup>1</sup>, Juan C. Vélez Chica<sup>1</sup>,  
Viviana Talledo Solórzano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar, Universidad Técnica de Manabí, Sucre- Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador.

<sup>2</sup>BioGea Reserach Group, Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador.

Gerardo J. Cuenca-Nevárez   gercuenevarez12@aol.com

Palabras clave |  
Bacteriocina,  
conservación,  
inocuo,  
microorganismos,  
seguridad alimentaria

**RESUMEN** | La bioconservación se ha convertido en un tema importante en la industria alimentaria, que busca alternativas naturales para prolongar la vida útil y garantizar la calidad de los alimentos. En este contexto, el objetivo central de esta investigación fue analizar el efecto de la nisina sobre la capacidad de almacenamiento y las propiedades sensoriales de los filetes de corvina (*Cynoscion albus*). Este pescado fresco, es obtenido de operaciones de pesca a pequeña escala, el mismo que se almacena a temperaturas por debajo de 4-5°C para mantener su frescura antes de ser fileteado. A continuación, se probaron diferentes concentraciones de nisina sobre filetes de corvina y así determinar su eficacia para combatir el crecimiento excesivo de *Staphylococcus aureus*, un patógeno comúnmente asociado con la intoxicación alimentaria. También se realizó una evaluación sensorial de los filetes de corvina después de los tratamientos. Los resultados mostraron que la nisina tuvo un efecto significativo en la reducción de *S. aureus*, y la dosis de 400 UI kg<sup>-1</sup> destacó su capacidad

para reducir la carga bacteriana en un 41% después de 24 h a 4°C. No se detectaron cambios significativos en la calidad sensorial de los filetes, lo que sugiere que la nisina no reduce la integridad sensorial del pescado. Cabe señalar que la nisina, como agente antibacteriano natural, se ha utilizado durante mucho tiempo en la industria alimentaria para inhibir patógenos. Estos resultados sugieren que la nisina puede ser una opción viable para mejorar la seguridad de los alimentos de origen acuático.

Keywords |

Bacteriocin,  
preservation,  
innocuous,  
microorganisms,  
food safety,  
food safety.

**ABSTRACT** | Bioconservation has become a significant topic in the food industry, aiming to find natural alternatives to extend shelf life and ensure food quality. In this context, the primary objective of this research was to analyze the effect of nisin on the storage capacity and sensory properties of white seabass (*Cynoscion albus*) fillets. This fresh fish is obtained from small-scale fishing operations and stored at temperatures below 4-5°C to maintain freshness before filleting. Different concentrations of nisin were tested on white seabass fillets to determine their effectiveness in combating excessive growth of *Staphylococcus aureus*, a pathogen commonly associated with food poisoning. Sensory evaluation of the seabass fillets was also conducted post-treatment. Results showed that nisin had a significant effect in reducing *Staphylococcus aureus*, with the 400 UI kg<sup>-1</sup> dose highlighting its efficacy in reducing bacterial load by 41% after 24 h at 4°C. No significant changes in sensory quality of the fillets were detected, suggesting that nisin does not compromise the sensory integrity of the fish. It is noteworthy that nisin, as a natural antibacterial agent, has long been used in the food industry to inhibit pathogens. These findings suggest that nisin may be a viable option for enhancing the safety of aquatic food products.

## INTRODUCCIÓN

La inocuidad de los alimentos se refiere a la garantía de que los productos consumidos no causarán daño al consumidor cuando se preparen o consuman de acuerdo con su uso previsto (Cedeño et al. 2021). La inocuidad de los

productos pesqueros es esencial para garantizar la salud del consumidor y se refiere a la prevención de contaminaciones que puedan hacer que estos productos sean perjudiciales (Meza-Villalobos et al., 2023). Dentro de los riesgos biológicos asociados al procesamiento de especies de carácter pesquero se encuentra el *Staphylococcus aureus* que es una bacteria que proviene de los manipuladores de alimentos que son portadores de la bacteria, ya sea en sus manos o en sus fosas nasales (Criollo et al., 2023). La falta de higiene adecuada, como no lavarse las manos correctamente, puede transferir la bacteria a los alimentos (Rondón et al., 2020).

Los filetes de corvina, son porciones aptas para ser consumidas, con dimensiones y contornos no uniformes que se extraen del cuerpo de la corvina con cortes alineados a su espina dorsal (Meza-Villalobos et al., 2023). También se refiere a las porciones en que se dividen esas piezas para hacer más sencilla su conservación, las cuales son congeladas. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 183:2013, define las pautas microbiológicas para este producto y señala que la cantidad de *S. aureus* coagulasa positiva debería oscilar entre 100 y 1000 UFC g<sup>-1</sup>. La industria alimentaria de acuerdo con Sánchez-Martin y su equipo (2019) demanda tecnologías emergentes para aumentar la vida útil del pescado y ofrecer productos seguros y de calidad, por esta razón, la aplicación de nisina que es una bacteriocina, es decir, una proteína con actividad antimicrobiana producida por ciertas bacterias, como por ejemplo, *Lactococcus lactis* y que la FDA aprueba por estar bajo la clasificación GRAS (Generalmente Reconocido Como Seguro). Por esto, el uso de este producto en filetes de corvina representa una alternativa útil para su conservación, pues gracias a las propiedades que la nisina presenta como: espectro de acción antimicrobiana, termoestabilidad, solubilidad, compatibilidad con otros agentes conservantes, acción a diferentes valores de pH y biodegradabilidad; lo vuelven el conservante ideal de este tipo de productos alimenticios, así como de otros más (Bautista & Barrado., 2023). Es así como el objetivo central de esta investigación fue evaluar el efecto del uso de nisina en la bioconservación y características sensoriales de filetes de corvina.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

La adquisición de las muestras de corvina se realizó en diversos puntos de venta de pescado ubicados en el cantón Sucre, obtenidas directamente de pescadores artesanales tras su arribo con pesca fresca del día. Para el almacenamiento de dichas muestras, se emplearon contenedores aislantes, en los cuales se dispusieron estratégicamente capas de hielo. Esta medida se tomó con el fin de mantener una temperatura constante inferior a 4,5 °C, evitando así el deterioro prematuro del pescado. Conforme a lo establecido en la normativa NTE INEN 1896 (2013:3), se garantizó que el producto conservara sus características sensoriales intrínsecas, incluyendo olor, color y sabor, asegurando así la ausencia de signos de descomposición.

### Procedimiento de aislamiento e identificación de *Staphylococcus aureus*

Una vez en el laboratorio de Microbiología, se prepararon diluciones en serie que se sembraron en placas con agar sal y manitol, incubándolas por un período de 24 a 48 h a 37 °C (Huertas-Caro *et al.*, 2019). Se utilizaron bacterias de *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* (ATCC® 25923™), dichas cepas se conservaron entre 2 y 4 °C y posteriormente se reactivaron utilizando caldo nutritivo y cultivo en agar Baird Parker (BPA).

### Evaluación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) de nisina en cepas de *S. aureus* originarias de filetes de corvina

Para normalizar la densidad de las preparaciones bacterianas, se utilizó la escala de McFarland como referencia de turbidez. La referencia de 0.5 se preparó con soluciones de ácido sulfúrico (0,18 M) y cloruro de bario acuoso (0.048 M), correspondiente a  $1,5 \times 10^8$  UFC ml<sup>-1</sup> y una densidad óptica de entre 0,08 y 0,12 a 625 nm (Bouvier *et al.*, 2023). En medios de cultivo Mueller Hilton (MH) de 5 ml, se incorporaron tres colonias de *S. aureus* y se incubaron a 37 °C por 1 h. Luego se midieron sus absorbancias y turbidez. Aquellos tubos cuyas medidas estaban dentro del rango previamente especificado se categorizaron según la referencia

0,5 McFarland, con una densidad aproximada de  $1,5 \times 10^8$  células  $\text{ml}^{-1}$  (Golkar, Mosavat & Jalali, 2020).

Posteriormente, se preparó una solución concentrada de nisina, diluyendo 1,0 g de este bioconservante en 100 ml de HCl al 0,02 N, resultando en una solución de  $1,0 \times 10^4$  UI  $\text{ml}^{-1}$  con un pH cerca de 2,0. El pH se ajustó a 3,21 utilizando NaOH al 0,5 N. Esta solución se diluyó en caldo Mueller Hinton (MH) para obtener concentraciones que variaban desde 100 hasta 2000 UI  $\text{ml}^{-1}$  (Rumjuankiat et al., 2017). Como control, se empleó el caldo MH. A cada tubo, se añadieron 10  $\mu\text{l}$  de una solución inoculada con *Staphylococcus aureus*, incubando a 37 °C durante 24 h con agitación constante a 182 rpm.

Para la curva de letalidad, se utilizó el procedimiento en concentraciones desde  $\frac{1}{2}$  (CMI); 1 (CMI); 2 (CMI) y 4 (CMI); se inoculó el contenido de los tubos en placas con agar Baird Parker en intervalos de tiempo específicos (de 0 a 24 h). Luego, se contaron las colonias resultantes, y los datos se representaron en una gráfica que correlacionó el recuento bacteriano con el tiempo de exposición (López-Malo et al., 2020). Dicha gráfica siguió un patrón cinético exponencial de primer orden, cuya ecuación es la siguiente:

$$N_t = N_o e^{-k.t} \quad (1)$$

Aplicando logaritmos a ambos lados de la ecuación, tenemos:

$$\ln N_t = \ln N_o - k.t \quad (2)$$

A partir de la reconfiguración de la ecuación mencionada, es posible determinar el intervalo temporal requerido para que la concentración del microorganismo disminuya al 50% de su valor inicial, a lo que se le conoce como tasa de letalidad (K) donde:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{K} \quad (3)$$

Evaluación de la influencia de diversas dosis de nisina en la producción de filetes de corvina (*Cynoscion albus*)

Durante la elaboración de los filetes de corvina, se controló el pH de los pescados mediante potenciometría, se midió su acidez (Yang *et al.*, 2022) y se realizó un recuento de *Staphylococcus aureus* (Hao *et al.*, 2023). Después de desescamar el pescado, se le evisceró haciendo un corte desde el vientre hasta el ano, permitiendo el acceso a la cavidad interna para eliminar las vísceras. Luego, se lavó para quitar vísceras, escamas y sangre residuales. Posteriormente, se fileteó el pescado en piezas uniformes de alrededor de 1 cm de grosor y dimensiones aproximadas de 12 x 4 cm, a las cuales se les incorporó nisina en diferentes concentraciones (0,0; 500 y 875 UI kg<sup>-1</sup>) de manera uniforme. Posteriormente, se recolectaron muestras de cada grupo de filetes, las cuales se conservaron a  $4 \pm 2$  °C, y se procedió al recuento de *Staphylococcus aureus* en tres ocasiones, tanto al inicio como a las 24 h, siguiendo la metodología propuesta por Rajapaksha y su equipo de investigación (2019).

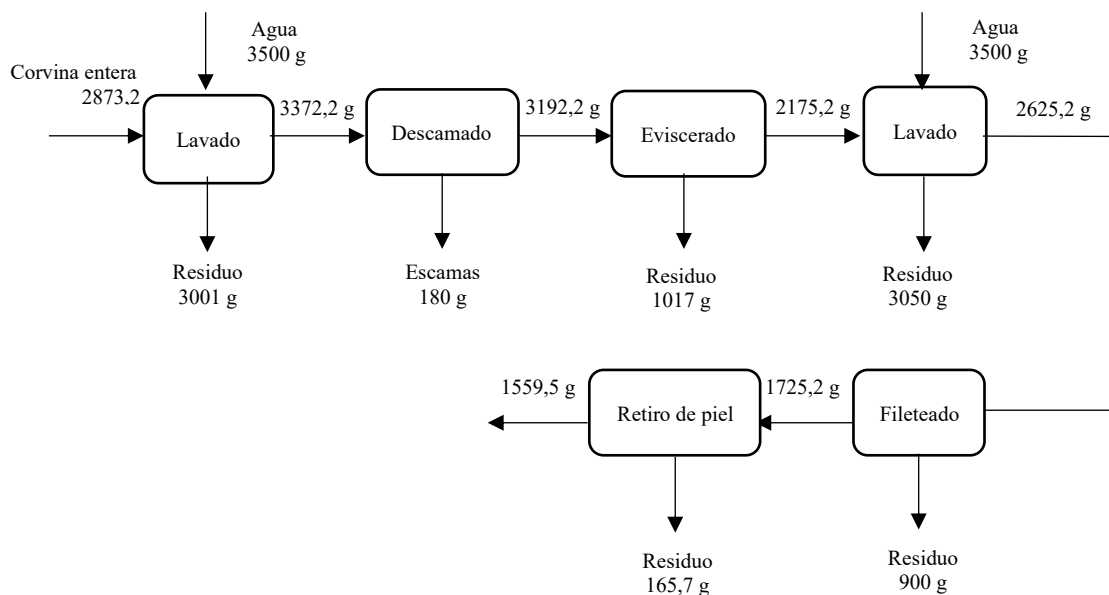


Figura 1. Diagrama de flujo y balance de materia de la elaboración de filetes de corvina (*Cynoscion albus*)

## Evaluación sensorial de los filetes de corvina (*Cynoscion albus*) con y sin adición de nisina

Se convocó a 50 evaluadores no especializados, cuyas edades oscilaban entre 19 y 45 años, para examinar parámetros como color, olor, sabor y textura de las muestras pertenecientes a los distintos tratamientos en observación. Para esta evaluación, se empleó una escala hedónica de cinco niveles, siendo el valor 1 representativo de "muy malo" y el valor 5 de "muy bueno".

Para la evaluación organoléptica, los filetes se cocinaron en una plancha a alta temperatura durante cerca de 2 minutos, evitando la adición de especias o condimentos que pudieran alterar las características intrínsecas de la muestra. Posteriormente, las muestras se sirvieron a los evaluadores, asignando a cada una un identificador numérico aleatorio.

### Análisis estadístico

La presente investigación se estructuró mediante un diseño completamente al azar y los resultados se procesaron utilizando el software estadístico R Project versión 2023.06.2+561. Se efectuó un análisis de varianza y al evidenciar diferencias estadísticas entre tratamientos, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan para hallar las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los recuentos de *Staphylococcus aureus* entre las muestras de filete de corvina sin nisina y aquellas con las concentraciones estudiadas del bioconservante anteriormente mencionado.

## RESULTADOS

### Procedimiento de aislamiento, elección e identificación de *Staphylococcus aureus* derivado de muestras de filetes de corvina (*Cynoscion albus*)

En el conjunto de las muestras de filetes de corvina analizadas, se pudo aislar la presencia de *Staphylococcus aureus*. Se identificaron 15 cepas que manifestaban las propiedades típicas de las colonias de *Staphylococcus aureus*,

que se describen como esferoidales y circundadas por una zona de pigmentación amarillo brillante. Las cepas segregadas se definieron con base en sus características morfológicas, coloniales y bioquímicas, correspondiendo a *Staphylococcus aureus*. A través de los análisis realizados mediante PCR, se determinó que una de las cepas examinadas portaba los genes responsables de la síntesis de la enterotoxina específica de *Staphylococcus aureus*.

### Establecimiento de la CMI en cepas de *Staphylococcus aureus* segregadas de filetes de corvina (*Cynoscion albus*)

Se constató que una concentración de 400 UI ml<sup>-1</sup> resultó inhibitoria para el *Staphylococcus aureus*, debido a que tras 24 h de periodo de incubación no se registró turbidez, situación que contrastó con lo observado en los tubos con dosificaciones de 100 y 200 UI ml<sup>-1</sup>. Posteriormente, se extendió el espectro de concentraciones analizadas, abarcando un rango de 400 a 900 UI ml<sup>-1</sup>, identificando una inhibición efectiva a una concentración de 575 UI ml<sup>-1</sup>.

### Perfil de letalidad

La Figura 2, ilustra los perfiles de letalidad para *Staphylococcus aureus* sometido a cuatro dosificaciones de nisina. Es apreciable que en concentraciones de este bioconservante que coinciden o exceden la CMI, los recuentos de *S. aureus* decrecen de manera logarítmica, lo que refleja la actividad de nisina sobre la bacteria. Sin embargo, a una dosis de 200 UI ml<sup>-1</sup>, los recuentos se mantienen inalterados con el transcurso del tiempo, indicando que dicha concentración de nisina no ejerce una inhibición efectiva sobre *Staphylococcus aureus*. Esta representación gráfica ofrece una comprensión detallada de la interacción entre las distintas concentraciones de nisina y su potencial bactericida, por lo que resulta esencial representar el logaritmo de las unidades formadoras de colonias (UFC ml<sup>-1</sup>) que persisten en relación con el intervalo temporal.

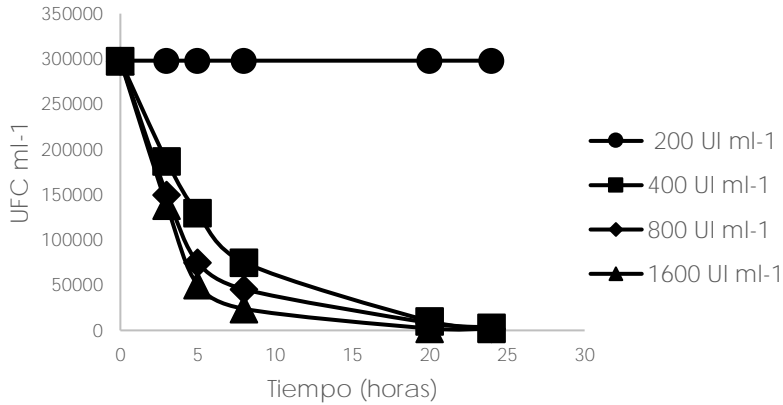


Figura 2. Curva de mortalidad de *Staphylococcus aureus* en función de las dosis de nisina presentes en el agar Baird Parker.

La Figura 3, ilustra el intervalo requerido para que una determinada concentración manifieste un efecto bactericida, definido por un descenso de unidades formadoras de colonias (UFC) en dos órdenes logarítmicos desde el comienzo de la medición (Santovito et al., 2022). Para una dosificación de 400 UI ml<sup>-1</sup>, el periodo requerido para alcanzar el pico de actividad bactericida fue a partir de las 20 hs de actividad. Con base en los datos obtenidos, se deduce que, tras 24 h de incubación, nisina a una concentración de 400 UI ml<sup>-1</sup>, propició una reducción notable en la población bacteriana, específicamente de 2,1 log (UFC ml<sup>-1</sup>).

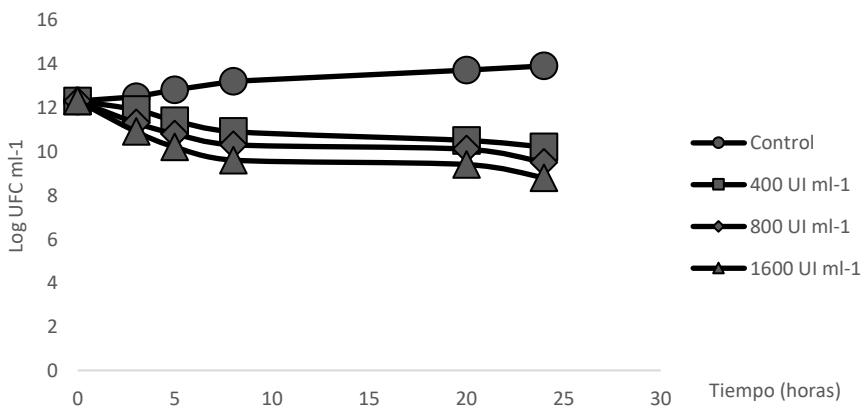


Figura 3. Relación entre el recuento logarítmico de células viables (Log UFC g<sup>-1</sup>) y el intervalo temporal medido en horas.

Adicionalmente, se evidencia una disminución correlativa en los recuentos a medida que avanza el periodo de incubación. En la Tabla 1 se muestran las inclinaciones derivadas de cada ecuación modelada, representando la tasa de letalidad (UFC h<sup>-1</sup>). Se deduce que una mayor concentración induce una aceleración en la tasa de mortandad del agente patógeno.

Tabla 1. Velocidad de letalidad e intervalo de reducción de *Staphylococcus aureus* en función de las dosificaciones de nisina examinadas.

Parámetros de la curva de letalidad	Concentración de Nisina (UI ml <sup>-1</sup> )		
	400	800	1600
K (UFC h <sup>-1</sup> )	0,131	0,163	0,187
T <sub>1/2</sub> (h)	3,410	2,876	2,560

### Evaluación de diferentes concentraciones de nisina en los filetes de corvina (*Cynoscion albus*)

Se midieron valores promedio de uno de los parámetros microbiológicos para pescado fresco de acuerdo a la normativa técnica ecuatoriana, en lo que respecta al recuento de *Staphylococcus aureus* los mismos que superaron el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, el cual se ubica en 100 UFCg<sup>-1</sup>.

En la tabla 2 se muestran los promedios de los recuentos en UFC g<sup>-1</sup> para los tratamientos evaluados; en los lotes con concentración de 575 y 400 UI kg<sup>-1</sup> de nisina se presentó un recuento menor de *Staphylococcus aureus* respecto a los resultados del tercer lote, tratamiento sin nisina. Los recuentos del tercer lote se encontraron por encima del límite máximo permisible para identificar nivel de buena calidad 100 UFC g<sup>-1</sup> de *Staphylococcus aureus* a las 0 y 24 h; representando un riesgo de intoxicación alimentaria. El análisis de varianza estableció que existían diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en cada uno de los tratamientos estudiados para los dos tiempos de almacenamiento evaluados, es decir que las concentraciones de nisina aplicadas en los filetes de corvina afectaron significativamente los recuentos de *Staphylococcus aureus*.

Tabla 2. Comparación de medias para el promedio del recuento de *Staphylococcus aureus* (UFC  $g^{-1} \pm DS$ ) en los filetes de corvina a las 0 y 24 h de almacenamiento

Tiempo (h)	Concentración de nisina (UI/kg)		
	575	400	Sin nisina
0 h	53,2 ± 46,9 <sup>a</sup>	96 ± 49 <sup>a,b</sup>	1656 ± 601 <sup>c</sup>
24 h	15,3 ± 7,5 <sup>a</sup>	22,1 ± 9,9 <sup>a</sup>	2398 ± 727 <sup>b</sup>
% Reducción (B/A)	28,76	23,02	

<sup>abc</sup> Las letras diferentes indican que las medias difieren entre sí ( $p < 0.05$ )

La Tabla 2, revela una distinción clara en los resultados obtenidos inmediatamente después de la aplicación de los diferentes tratamientos, destacando que la incorporación de nisina a una dosis de 575 UI  $kg^{-1}$  resultó ser particularmente efectiva para reducir significativamente la presencia de *Staphylococcus aureus* en los filetes de corvina (*Cynoscion albus*). Tras 24 h, se evidencian diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en los recuentos entre las muestras de filetes de corvina no tratados con nisina y aquellos tratados con concentraciones de 575 y 400 UI  $kg^{-1}$  de nisina. Esto indica que ambas concentraciones de nisina poseen una eficacia comparable en la supresión del crecimiento de *Staphylococcus aureus*.

En la Figura 4, se exhiben los valores promedio de las poblaciones de *Staphylococcus aureus* en distintas muestras de filetes de corvina (*Cynoscion albus*) a lo largo del periodo de almacenamiento, así como las variaciones en términos de ciclos logarítmicos. Se observa un incremento progresivo en la concentración de *Staphylococcus aureus* en las muestras de filetes de corvina que no fueron tratadas con nisina a medida que avanza el tiempo de almacenamiento. Notablemente, la comparación entre las muestras control y aquellas tratadas con una dosis de 400 UI  $kg^{-1}$  de nisina muestra un porcentaje de inhibición significativo del 41% en los recuentos de *Staphylococcus aureus*.



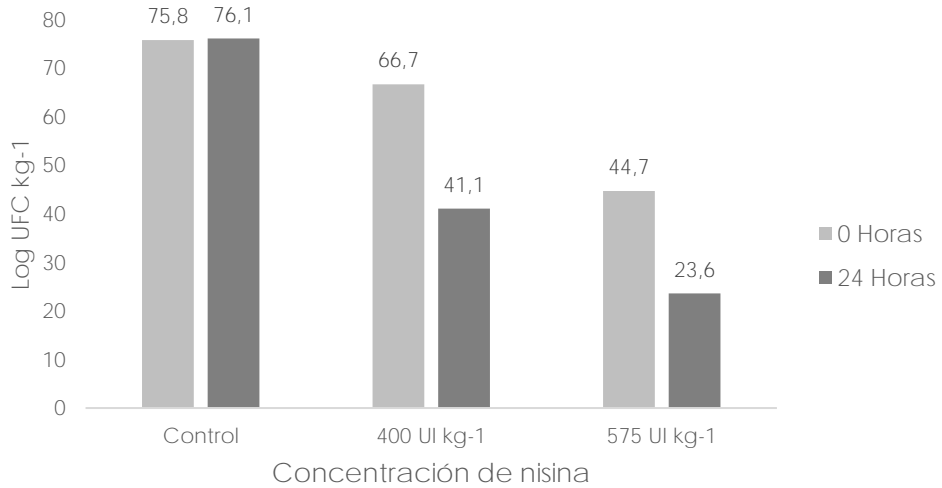


Figura 4. Recuento promedio de *Staphylococcus aureus* en función de las diferentes concentraciones de nisina y del grupo control a lo largo de los periodos de almacenamiento de los filetes de corvina (*Cynoscion albus*).

### Evaluación sensorial

Tras realizar la prueba triangular con un panel de catadores, se ha encontrado que no hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los filetes de corvina elaborados de manera tradicional y aquellos a los que se le añadió 400 UI de nisina. Esto indica que la adición de nisina no altera de manera perceptible las cualidades sensoriales de los filetes de corvina (*Cynoscion albus*).

## DISCUSIÓN

El análisis de las muestras de filetes de corvina (*Cynoscion albus*) revela la presencia de *Staphylococcus aureus*, el mismo que es un microorganismo peligroso y que expone a los consumidores de este producto en riesgo de intoxicación alimentaria (Cedeño *et al.*, 2021). Esta situación podría estar relacionada con la falta de un proceso de higiene durante el escamado, eviscerado y fileteado; además, durante la manipulación, distribución y venta de los filetes de corvina (*Cynoscion albus*).

Es importante destacar que, en Ecuador, de acuerdo a informes del Ministerio de Salud Pública (2021), determina que, durante el año 2019, se reportaron 2734 brotes de enfermedades transmitidas por alimentos, y sorprendentemente, el 6,11% de estos brotes se encuentran involucrados a productos pesqueros. En aquellos casos en los que se logró identificar el agente causante de la enfermedad, el 8,98 % resultó ser por *Staphylococcus aureus*. Además, estudios realizados en la provincia de Manabí sobre la venta de pescado han concluido que las deficiencias en la higiene durante el manejo del producto o las condiciones inadecuadas de las instalaciones en los lugares de venta; hacen que muchas veces la venta de pescado no sea apta para el consumo humano debido a su alta carga microbiológica (Dissett, 2018).

En la mayoría de sitios de expendio de pescado muestreados para este estudio, se notó que las condiciones de distribución, almacenamiento y venta de pescado eran inadecuadas. Solamente en pocos lugares se mantenía el producto bajo temperaturas óptimas de conservación. Es muy probable que estas deficiencias impacten negativamente en la calidad microbiológica del pescado (Rondón et al., 2020). Por esta razón, se recomienda revisar y aplicar correctamente las buenas prácticas de manufactura en su procesamiento. La contaminación por *S. aureus* en los filetes de corvina podría originarse en diferentes fuentes, incluyendo la piel, boca o narices de quienes manipulan, venden este producto; así mismo las condiciones ambientales y de proceso (Meza-Villalobos et al., 2023). Diversos estudios anteriores que han evaluado la calidad higiénica de los productos de la pesca artesanal en general han encontrado una relación directa entre la presencia de *S. aureus* y una baja calidad higiénica (Criollo et al., 2023).

En la presente investigación, la concentración de nisina requerida para inhibir a *Staphylococcus aureus*, fue de 400 UI ml<sup>-1</sup>; diversos estudios indican que el uso de microorganismos o sus metabolitos con actividad antimicrobiana son estrategias de bioconservación que tienen como objetivo mejorar la seguridad alimentaria y prolongar la vida útil de los alimentos (Arbulu et al., 2022). Por su parte, Campos y compañía (2022); demostraron que la inmersión de salmón crudo en una suspensión celular de un *Lactobacillus*. La cepa productora de lactis nisina fue capaz de prolongar la vida útil del pescado envasado al vacío sin efectos negativos en el perfil sensorial.

Asimismo, Andrés-Bello y su grupo (2015); compararon la vida útil de filetes de dorada (*Sparus aurata*) tratados con impregnación al vacío con nisina o con un productor de nisina *Lactobacillus lactis* y concluyó que ambos tratamientos fueron capaces de aumentar la vida útil, de dichos filetes. En este orden de cosas, Hwanhlem y colaboradores (2015) utilizaron una cepa de *Lactobacillus lactis* capaz de producir nisina Z para la bioprotección de camarones cocidos y observaron su capacidad para contrastar el crecimiento de *Listeria innocua* a una temperatura de almacenamiento de 8°C bajo MAP.

Por su parte, de acuerdo con Sánchez-Martín y sus colegas (2019); el mecanismo antibacteriano de la nisina se caracteriza por una doble acción sobre la membrana de los microorganismos: la formación de poros y un efecto similar al de un detergente que desestabiliza la membrana. Este proceso ocurre en tres etapas distintas. Inicialmente, la carga positiva de la nisina interactúa con la carga negativa de la pared celular del microorganismo. Posteriormente, la nisina se adhiere a una molécula transportadora en la pared celular, conocida como lípido II, que es esencial para la síntesis del peptidoglucano. Este enlace inhibe la formación del peptidoglucano. Finalmente, las moléculas de nisina se fijan al lípido II y se insertan en la membrana celular para formar poros. Esta acción resulta en la muerte celular debido a la alteración crítica de la membrana (Bautista & Barrado., 2023).

El perfil de mortalidad microbiana aquí expuesto revela que la nisina ejerce una acción bactericida que sigue una cinética de primer orden, indicativa de una relación proporcional entre la log-reducción de microorganismos y el tiempo de exposición desde 400 a 500 UI kg<sup>-1</sup>; esto contrasta con investigaciones llevadas a cabo por Wu y colaboradores (2023); quienes determinaron específicamente que la integración de nisina con técnicas de sellado al vacío en la conservación de filetes de atún refrigerados ha resultado en una prolongada longevidad del producto. Sobre todo cuando se aplicó nisina, especialmente a una concentración del 800 UI kg<sup>-1</sup>, siendo fundamental para mantener las cualidades nutricionales y de sabor del atún, aumentando su duración en el mercado por dos días adicionales bajo condiciones refrigeradas de 4 ± 2 °C.

La evaluación sensorial del producto es de suma importancia porque evidencia que no se perciben cambios organolépticos ( $p < 0,05$ ) en los filetes de

corvina conservados con nisina 400 UI kg<sup>-1</sup> respecto al filete de corvina sin adición de nisina; resultados similares fueron encontrados por Gao y su equipo (2014), utilizando una solución acuosa de nisina (0,7%) en filetes de pescado, evidenciaron una reducción de aproximadamente 1 log UFC g<sup>-1</sup> del total de bacterias mesófilas, durante el almacenamiento a 4 °C. Por otro lado, Abdollahzadeh y colaboradores (2014) observaron una débil inhibición contra *L. monocytogenes* en muestras de pescado picado tratadas con nisina en una concentración de 500 UI kg<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

El uso de nisina en la conservación de filetes de corvina parece ser una alternativa eficaz para mejorar la seguridad de los productos del mar y garantizar la salud de los consumidores. Se descubrió que la aplicación de diferentes dosis de nisina a los filetes de corvina tiene un efecto significativo en la reducción del número de UFC g<sup>-1</sup> de *Staphylococcus aureus*, un microorganismo patógeno comúnmente asociado con enfermedades transmitidas por alimentos. Además, se observó que la adición de nisina no afectó significativamente las propiedades sensoriales de los filetes de corvina, lo que sugiere que esta bacteriocina puede usarse sin afectar la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial del producto. Esta es la razón por la que el uso de nisina se considera un producto eficaz para mejorar la seguridad alimentaria en el sector pesquero

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Grupo de Investigación BioGea Research Group, perteneciente a la Universidad Técnica de Manabí. Se agradece la colaboración de GeaResearch por la logística brindada.

## REFERENCIAS

Abdollahzadeh, E., Rezaei, M., Hosseini, H. (2014). Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. *Food Control* 35:177–183.

- Andrés-Bello, A., De Jesús, C., García-Segovia, P., Pagán-Moreno, J., Martínez-Monzó, J. (2015). Vacuum impregnation as a tool to introduce biopreservatives in gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*). *LWT – Food Science and Technology*, 60, 758-765. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.063>
- Arbulu, S., Gómez-Sala, B., Garcia-Gutierrez, E., & Cotter, P. D. (2022). Bioprotective Cultures and Bacteriocins for Food. *Good Microbes in Medicine, Food Production, Biotechnology, Bioremediation, and Agriculture*, 89-112.
- Bautista, G., & Barrado, A. 2023. Bacteriocinas como bioconservador alimentario: características generales y aplicación en alimentos. *Pubsaúde*, 12, a366. DOI: <https://dx.doi.org/10.31533/pubsaude12.a366>
- Bouvier, M., Raro, F., Kerbol, A., Poirel, L., & Nordmann, P. (2023). Rapid detection of imipenem/relebactam susceptibility/resistance in Enterobacterales. *Clinical Microbiology and Infection*, 29 (11), 1453-e1.
- Campos, A., Aubourg, P., & Schelegueda, I. (2022). Use of biopreservation to improve the quality of fresh aquatic products. In *Postharvest and Postmortem Processing of Raw Food Materials* (pp. 343-378). Woodhead Publishing.
- Cedeño, L., Vargas, A., Talledo, V., & Cuenca, G. (2021). Evaluación Microbiológica de Pescado Fresco Albacora (*Thunnus alalunga*) en el Mercado Central del Cantón Chone. *La Técnica*, Edición Especial, 69-81. DOI: [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i0.3312](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.3312)
- Criollo, B., Llivipuma, F., & Tejedor, O. (2023). Identificación de *Staphylococcus aureus* en pescado fresco" Albacora" (*Thunnus alalunga*) en mercados de la ciudad de Cuenca-Ecuador. *Anatomía Digital*, 6(4), 56-76
- Dissett, L. (2018). Cortes y Procesamiento De Productos Acuícolas. Inpesa. [file:///C:/Users/chica/Desktop/Cartilla\\_Corte\\_y\\_procesamiento.pdf](file:///C:/Users/chica/Desktop/Cartilla_Corte_y_procesamiento.pdf)

- Gao, S., Feng, F., Jiang, J., Zhu, L., Fu, L., Yuan, X., Li, R. (2014). The use of rosemary extract in combination with nisin to extend the shelf life of pompano (*Trachinotus ovatus*) fillet during chilled storage. *Food Control* 37:1–8.
- Golkar, P., Mosavat, N., & Jalali, H. (2020). Essential oils, chemical constituents, antioxidant, antibacterial and in vitro cytotoxic activity of different *Thymus* species and *Zataria multiflora* collected from Iran. *South African Journal of Botany*, 130, 250-258.
- Hao, Y., Zhang, M., Liu, B., Ma, W., Dong, Q., Fan, M., ... & Li, L. (2023). Nonmigrating Active Antibacterial Packaging: Antimicrobial Mechanism against *Staphylococcus Aureus* and Its Application in Large Yellow Croaker. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(16), 6220-6229.
- Huertas-Caro, C., Urbano-Cáceres, E., & Torres-Caycedo, M. (2019). Diagnóstico molecular una alternativa para la detección de patógenos en alimentos. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 18(3), 513-528.
- Hwanhlem, N., Jaffrès, E., Xavier, D., Pillot, G., Choiset, Y., Haertlé, T., H-kittikun, A., Chorberty, M. (2015). Application of a nisin Z-producing *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* KT2W2L isolated from brackish water for biopreservation in cooked, peeled and ionized tropical shrimps during storage at 8°C under modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology* 240:6.
- López-Malo, A., Mani-López, E., Davidson, P. M., & Palou, E. (2020). Methods for activity assay and evaluation of results. In *Antimicrobials in food* (pp. 13-40). CRC Press.
- Meza-Villalobos, L. A., Meza-Espinoza, L., Espinosa-Chaurand, L. D., Diaz-Ramirez, M., & Cortés-Sánchez, A. D. J. (2023). Evaluación microbiológica de pescado (*Cynoscion albus*) destinado al consumo humano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 1263-1283.
- Ministerio de Salud Pública. (2021). Subsistema de Vigilancia SIVE-Alerta enfermedades transmitidas por agua y alimentos Ecuador, SE 18, 2021.

Dirección Nacional Vigilancia Epidemiológica. 2021. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Etas-SE-18.pdf>.

NTE INEN 183. (2013). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Normativa Técnica Ecuatoriana. *Pescado fresco refrigerado o congelado. Requisitos. Enmienda (2014-03-18). Primera Revisión.* Quito, Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/183-1-enm.pdf>

RStudio Team. (2023). RStudio: Integrated Development for R (Versión 2023.06.2+561) [Software de computadora]. RStudio, PBC. <https://www.rstudio.com/>

Rajapaksha, P., Elbourne, A., Gangadoo, S., Brown, R., Cozzolino, D., & Chapman, J. (2019). A review of methods for the detection of pathogenic microorganisms. *Analyst*, 144(2), 396-411.

Rondón, J., Ramos, D., Vilca, M., Salazar, E., Mendoza, Y., & González, R. (2020). Caracterización sanitaria e identificación de los puntos de contaminación microbiológica en la cadena de comercialización pesquera en el puerto de Pucallpa, Ucayali, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(1).

Rumjuankiat, K., Keawsompong, S., & Nitisinprasert, S. (2017). Bacterial contaminants from frozen puff pastry production process and their growth inhibition by antimicrobial substances from lactic acid bacteria. *Food science & nutrition*, 5(3), 454-465.

Sánchez-Martín, M. A., Salgado-Calvo, M. T., San-Miguel-Hernández, Á., Pachón-Julián, J., Rodríguez-Barbero, E., Pastor-Martín, M. R., & Cabrero-Lobato, P. (2019). Nisina (N 234), aditivo utilizado como conservante en alimentos. *Gaceta Médica de Bilbao*, 116(4), 166-173.

Santovito, E., Elisseeva, S., Smyth, C., Cruz-Romero, M., Kerry, P., Duffy, G., & Papkovsky, B. (2022). A sensor-based system for rapid on-site testing of microbial contamination in meat samples and carcasses. *Journal of Applied Microbiology*, 132(2), 1210-1220.

- Yang, X., Lan, W., Lu, M., Wang, Z., & Xie, J. (2022). Characterization of different phenolic acids grafted chitosan and their application for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets preservation. *LWT*, 170, 114072.
- Wu, M., Dong, Q., Yan, H., Song, Y., Liu, Y., Hirata, T., & Li, Z. (2023). Bacteriostatic potential of nisin and sesamol combination against *Listeria monocytogenes* in chilled raw tuna fillets. *LWT*, 183, 114924.





# Metodología de amplificación de los fragmentos del genoma mitocondrial de *Cerastoderma glaucum*

## Methodology for amplification of fragments from the mitochondrial genome of *Cerastoderma glaucum*

González-Rosales E, Quinteiro L,  
Quinteiro J, Rey-Méndez M

Dpto. Bioquímica e Bioloxía Molecular/Instituto de Acuicultura,  
Universidad de Santiago de Compostela,  
CIBUS Planta 3. Lab.4 Bioquímica,  
Avda. Lope Gómez de Marzoas/n,  
15782-Santiago de Compostela,  
A Coruña. Galicia, Spain

González-Rosales E  [emma.gonzalez.rosales@rai.usc.es](mailto:emma.gonzalez.rosales@rai.usc.es)

Palabras clave |  
*Cerastoderma glaucum*,  
bivalvos,  
genoma mitocondrial,  
PCR,  
*DNA barcoding*.

**RESUMEN** | *Cerastoderma glaucum* es un berberecho perteneciente a la familia Cardiidae que se encuentra en áreas del Mediterráneo y la costa Atlántica, donde coexiste con su especie congénérica *C. edule*, dificultando su diferenciación al compartir similitudes morfológicas, ecológicas y genéticas. Generalmente, el genoma mitocondrial de metazoos contiene 37 genes, de los cuales 13 codifican para proteínas, 2 para ARNr y 22 para ARNt. Sin embargo, el genoma mitocondrial de bivalvos destaca por su variabilidad tanto en el orden de los genes, como el número, encontrando dificultades para la identificación del gen *atp8*. En los últimos años, el desarrollo de técnicas de análisis molecular ha permitido la identificación de especies mediante *DNA barcoding*. La diferenciación de ambas especies de berberechos es crucial para la resolución de importantes cuestiones en el ámbito de la biología y la acuicultura. Este trabajo desarrolla una metodología de amplificación de los fragmentos del genoma mitocondrial de *C. glaucum*, permitiendo su posterior secuenciación utilizando la tecnología de Oxford Nanopore que nos permitirá realizar estudios de genética poblacional y filogenética, así como

encontrar zonas polimórficas, no previamente contempladas, que puedan generar metodologías de etiquetado (*DNA barcoding*) rápidas, sencillas, fiables y económicas.

#### Keywords |

*Cerastoderma glaucum*,  
bivalves,  
mitochondrial genome,  
PCR,  
DNA barcoding.

**ABSTRACT |** *Cerastoderma glaucum* is a cockle belonging to the Cardiidae family found in areas of the Mediterranean and Atlantic coasts, where it coexists with its congeneric species *C. edule*, complicating differentiation due to shared morphological, ecological, and genetic similarities. Generally, the mitochondrial genome of metazoans contains 37 genes, of which 13 encode for proteins, 2 for rRNA, and 22 for tRNA. However, the mitochondrial genome of bivalves stands out for its variability in gene order and number, posing challenges in identifying the *atp8* gene. In recent years, the development of molecular analysis techniques has allowed species identification through DNA barcoding. Distinguishing both cockle species is crucial for addressing significant issues in biology and aquaculture. This work develops a methodology for amplifying fragments of the mitochondrial genome of *C. glaucum*, enabling subsequent sequencing using Oxford Nanopore Technology. This approach will facilitate population genetics and phylogenetic studies, uncovering previously unexplored polymorphic regions for the development of rapid, simple, reliable, and cost-effective DNA barcoding methodologies.

## INTRODUCCIÓN

*Cerastoderma glaucum* es un molusco bivalvo perteneciente a la familia Cardiidae. Se encuentra en zonas de marea ausente y submareales, abarcando la costa mediterránea, incluyendo mares adyacentes como el Mar Negro y Mar Caspio y coexistiendo con su especie congénica a lo largo de la costa atlántica (del norte de Europa hasta Mauritania) (Malham *et al.*, 2012). Ambas especies son morfológicamente muy similares, sobre todo en las áreas en las que conviven, lo que dificulta su diferenciación.

Taxonómicamente, se conocen dos tipos principales de moluscos bivalvos. El primer grupo se trata de los Opponobranchia, que incluye a la mayoría de los

bivalvos protobranquiados y que, generalmente, se considera que conserva muchas de las características ancestrales. El segundo grupo son los Autobranchia, bivalvos lamelibranquios con branquias completamente funcionales que se alimentan por filtración (Plazzi *et al.*, 2013). Los bivalvos marinos pertenecen al segundo grupo mencionado, concretamente a la superfamilia Cardioidea, a la que pertenece la familia Cardiidae, con un registro fósil que data del Triásico tardío (Kirkendale *et al.*, 2009). Esta familia comprende alrededor de 265 especies extintas pertenecientes a 50 géneros y 9 familias (ter Poorten, 2014). Actualmente, la familia Cardiidae consiste en al menos 20 géneros, aproximadamente 200 especies distribuidas por todo el mundo. Pertenecen al superorden Imparidentia, dentro de la infraclase Euheterodonta, formando junto con la superfamilia Tellinoidea un grupo hermano del clado Neoheterodonte (Bieler *et al.*, 2014) (Fig. 1). Se cree que el género *Cerastoderma* diverge de su ancestro común en el mar Mediterráneo y en el actual territorio del Sáhara durante el Mioceno tardío. Este evento se asocia con la crisis de salinidad del periodo mesiniense, en el que el mediterráneo se dividió en una serie de cuencas y lagunas aisladas de diferentes salinidades. Se cree que la adaptación a las distintas condiciones dio lugar a especies distintas en el Plioceno temprano (4 Ma) (Brock, 1991; Nikula & Väinölä, 2003; Tarnowska *et al.*, 2012).

**Filo:** Mollusca  
**Clase:** Bivalvia  
**Subclase:** Autobranchia  
**Clado:** Heteroconchia  
**Infraclase:** Euheterodonta  
**Superorden:** Imparidentia  
**Orden:** Cardiida  
**Superfamilia:** Cardioidea  
**Familia:** Cardiidae  
**Subfamilia:** Lymnocardiinae  
**Género:** *Cerastoderma*

Figura 1. Clasificación taxonómica del género *Cerastoderma*.

En Galicia, los berberechos constituyen una de las principales pesquerías, tratándose de una actividad de gran relevancia social, que sustenta a aproximadamente 4000 personas. En el transcurso de 2022, el berberecho se destacó como la especie más capturada en la región (30,43% de la pesca total

de bivalvos), generando ingresos de alrededor de 14 millones de euros. Estos beneficios solo fueron superados por la captura de almeja japonesa, que alcanzó casi 25 millones de euros (Xunta de Galicia, 2023). En el año 2012, la pesquería del berberecho sufrió un colapso importante (Fig. 2). Esto fue debido a un evento masivo de mortalidad de *C. edule*, desencadenado por eventos de neoplasia diseminada y marteiliosis, causada por el parásito *Marteilia cochillia* en la Ría de Arousa, una de las pesquerías más importantes en cuanto a productividad en Galicia. Sin embargo, este parásito no parece afectar a *C. glaucum*, lo que llevó a incluir a esta especie en los planes de explotación (Villalba et al., 2014; Carballal et al., 2016). No obstante, únicamente se diferencian ambas especies en 3 de las lonjas de Galicia (Cabo de Cruz, Carril y Rianxo) a partir del año 2013 (Xunta de Galicia, 2023). A pesar de esto, a partir del 2017 se observa un ascenso en las capturas de berberechos (Fig. 2) debido a una rápida resistencia adquirida al parásito *M. cochillia* por *C. edule* a través de la selección natural (Villalba et al., 2023).

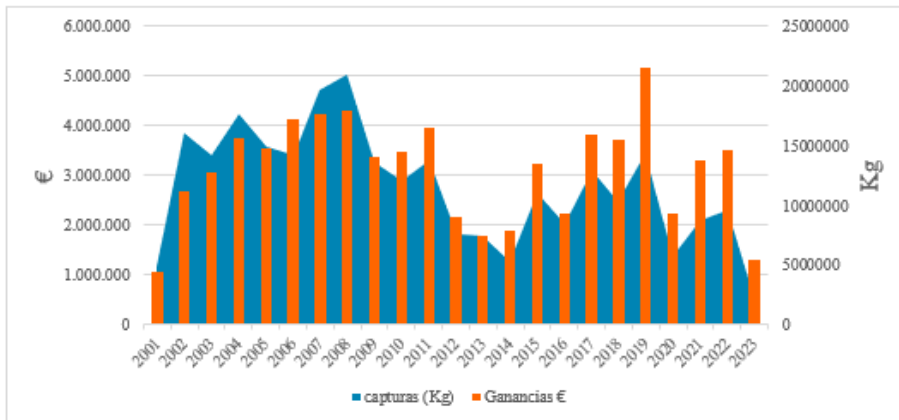


Figura 2. Capturas de berberechos en Galicia entre los años 2001 y 2023 así como los ingresos generados mediante estas capturas (Xunta de Galicia, 2023).

Generalmente, el genoma mitocondrial de metazoos se compone de una molécula simple de ADN circular de un tamaño comprendido entre 14 y 42 kb. Normalmente contiene 37 genes, de los cuales 13 codifican para proteínas, 2 para ARNr y 22 para ARNt. El ADN mitocondrial presenta características únicas como su herencia materna, ausencia de recombinación y altas tasas de mutación, lo que

lo hacen un candidato perfecto para estudios filogenéticos, ya que reordenamientos en el orden de los genes resultan informativos en estos casos (Wolstenholme, 1992; Boore, 1999). En las últimas décadas, son cada vez más los genomas mitocondriales disponibles en el GenBank (Tabla 1). El taxón Bivalvia se posiciona en el segundo lugar entre los taxones de moluscos con más información disponible en cuanto a sus genomas mitocondriales. Actualmente en el GenBank podemos encontrar un total de 277 secuencias de ADNmt de moluscos bivalvos, de los cuales 100 han sido secuenciados durante los últimos 3 años.

Tabla 1. Secuencias de referencia de ADNmt del reino Mollusca disponibles en GenBank, así como el desglose para cada uno de sus taxones. (Búsqueda a 22/11/2023).

Taxon	Total RefSeq	<2000	2000-2010	2011-2020	2021-2023
<b>Gastropoda</b>	405	1	37	192	175
<b>Bivalvia</b>	277	1	27	149	100
<b>Scaphopoda</b>	2	0	2	0	0
<b>Cephalopoda</b>	108	0	14	37	57
<b>Polyplacophora</b>	18	1	0	12	5
<b>Monoplacophora</b>	2	0	0	2	0
<b>Aplacophora</b>	5	0	1	4	0
<b>Mollusca</b>	817	3	81	396	337

Los genomas mitocondriales de moluscos bivalvos varían ampliamente en tamaño. Presentan longitudes comprendidas entre 14 kb (*Lanternula elliptica*) y 47 kb (Arcidae) (Plazzi *et al.*, 2016). Sin embargo, la disposición de sus genes difiere notablemente de otros ADNmt, por ejemplo, presentando dificultades en la identificación del gen *atp8* (Wang *et al.*, 2010). Además, en algunas especies del género *Crassostrea*, el gen *rrnS* se ha duplicado, mientras que el *rrnL* se ha separado en dos fragmentos en los ostreidos (Milbury & Gaffney, 2005; Danic-Tchaleu *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2009). Por otra parte, el gen *cox2* ha sufrido una duplicación en *Musculista senhousia* (tipo M) (Passamonti *et al.*, 2011) y *Venerupis philippinarum* (tipo F) (Plazzi *et al.*, 2016). En relación con *C. edule*, presenta una longitud aproximada de 15 kb y contiene 13 genes codificantes de proteínas, 24 ARNt y 2 ARNr. Asimismo, los moluscos bivalvos, presentan un modo de herencia único, denominado herencia doblemente uniparental (DUI= *Doubly Uniparental Inheritance*) (Zouros *et al.*, 2013). Este tipo de herencia consiste en la existencia de dos tipos de genomas mitocondriales: F (heredado de la hembra) y M (heredado

del macho) y ambos tipos coexisten en una misma especie. Los óvulos contienen el genoma F y los espermatozoides contienen el M. Tras la fertilización, las hembras serán homoplásmicas para el genoma F, mientras que los machos se convierten en mosaicos para el ADNmt: en los tejidos somáticos podemos encontrar el genoma F, mientras que en la línea germinal encontramos el genoma M. Se trata, por tanto, de una excepción a una de las reglas más comunes de la biología: la herencia uniparental materna del ADNmt. Hasta ahora solo se ha encontrado en moluscos bivalvos, pero no se puede afirmar que sea una característica exclusiva de los mismos (Zouros et al., 2013). No obstante, todavía no existen indicios de la presencia de este fenómeno en individuos del género *Cerastoderma* (Lucentini et al., 2020).

Trabajos previos utilizan análisis del genoma mitocondrial de *C. edule* para estudiar la evolución de enfermedades como la neoplasia transmisible en bivalvos (BTN). Bruzos et al. (2023) confirman mediante estos análisis la existencia de dos linajes BTN con orígenes hemocíticos donde la variación mitocondrial indica eventos de captura y coinfección del huésped. Previamente, en el 2016, Metzger et al. llegaron a la conclusión utilizando el *coxI*, de que la transmisión de células cancerígenas contagiosas es un fenómeno generalizado en el medio marino, pudiendo ocurrir incluso entre especies distintas. Por otra parte, genes mitocondriales del género *Cerastoderma* han sido especialmente útiles para evaluar la diversidad genética dentro y entre poblaciones distintas (Nikula & Väinölä, 2003; Krakau et al., 2012; Tarnowska et al., 2012; Martínez et al., 2015). Asimismo, dada la dificultad de una precisa clasificación taxonómica, el análisis de genes del ADNmt ha resultado eficaz para establecer relaciones evolutivas entre los individuos de la familia Cardiidae (Kirkendale et al., 2009; Herrera et al., 2015).

En los últimos años, el desarrollo de las técnicas de análisis molecular ha permitido la identificación de especies utilizando secuencias cortas de ADN, conocido como *DNA barcoding*. La diferenciación de ambas especies de berberechos es crucial para la resolución de importantes cuestiones en el ámbito de la biología y la acuicultura, como pueden ser conocer su diversidad real mediante estudios de genética poblacional y filogenética, gestionar correctamente sus pesquerías o desarrollar en un futuro programas de cría. Debido a esto, resulta esencial la existencia de metodologías de diferenciación

moleculares que permitan distinguir las dos especies de manera inequívoca (Malham *et al.*, 2012). El objetivo de esta técnica es crear librerías de referencia de secuencias de especies conocidas, depositadas en una base de datos. Se trata de una secuencia de ADN estandarizada asociada a un organismo de referencia que permita desarrollar herramientas moleculares fiables y rápidas para la identificación de especies en la naturaleza (Hubert *et al.*, 2008; Frézal & Leblois, 2008; Persis *et al.*, 2008). Permite además determinar el nivel taxonómico de diversas especies, dependiendo de la variación de las secuencias dentro y entre taxones (Mikkelsen *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2010). Resulta una herramienta útil para la diferenciación de especies crípticas (Bucklin *et al.*, 2007; Ni *et al.*, 2012), como pueden ser los berberechos del género *Cerastoderma*. La dificultad principal del *DNA barcoding* es encontrar el gen ideal que permita una amplificación y secuenciación robusta y reproducible, discriminando así un amplio espectro de especies (Frézal & Leblois, 2008; Vences *et al.*, 2005). Los genes más utilizados son el fragmento 5' del genoma mitocondrial de la subunidad I de la citocromo c oxidasa (coxI) y el 16S del ARNr (Nikula & Väinölä, 2003; Mikkelsen *et al.*, 2007; Ni *et al.*, 2012; Tarnowska *et al.*, 2010;2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Amplificación por PCR, purificación y concentración de los fragmentos

Se utilizó ADN de músculo y gónada extraído de un único individuo de *C. glaucum*. Se diseñaron 5 pares de cebadores para amplificar el genoma completo de *C. glaucum* (Tabla 2). Cada reacción de PCR, con un volumen final de 25 µl, contenía como máximo 250 ng de ADN genómico, 5X de tampón Go Taq Flexi Buffer, 1.5 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0,8 mM de cada dNTP, 0,5 µM de cada cebador y 0,625 U de Go Taq Flexi DNA polimerasa. La amplificación se llevó a cabo en un termociclador con el siguiente programa: 2 minutos a 95 °C, seguido de 40 ciclos de 40 segundos a 95°C, 40 segundos a 55°C y 4 minutos a 72 °C. Por último, 5 minutos a 72 °C y 5 minutos a 4°C. Los productos de PCR fueron finalmente visualizados en un gel de agarosa al 1,5%.

Tabla 2. Se muestran los cebadores diseñados para cada fragmento, así como la longitud esperada para cada fragmento en base al genoma mitocondrial de *C. edule*.

Fragmento	Primer	Secuencia (5'-3')	Longitud fragmento
I	Cgla-COX1-1F	GGACCCTTCAATAGACTTGGCTA	3531 pb
	Cera-16S-2R	TCCAACATCGAGGTCGCAAT	
II	Cera-16S-1F	GCCTTTAATTGGGGTCCGGT	3584 pb
	Cedu-12S-2R	GCATCGGATTGTAGCTCAGC	
III	Cedu-dND5-1F	TGGGTTGTCTTGATGTGGCA	2684 pb
	Cgla-COX1-2R	GATCACCTCCCCAACTGG	
IV	Cera-12S-2F	CTCAGCTGAGCTACAATCCG	3459 pb
	Cgla-COX2-1R	AGCTCAGTGCAAAACCCATAGA	
V	Cedu-COX2-1F	GTATTCCAGGTCGTGTGGGT	3904 pb
	Cedu-COX3-1R	CCCCACGAGAATTGCCGTAT	

Cada fragmento, tanto de músculo como de gónada, fue posteriormente purificado y concentrado utilizando el Kit PCR clean-up Gel extraction (NucleosSpin® Gel and PCR Clean-up), siguiendo el protocolo PCR clean-up, recomendado por la casa comercial. Se midió la concentración de ADN obtenida en cada fragmento mediante fluorimetría (Quantus, Promega).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se amplificaron con éxito los 5 fragmentos que componen el genoma mitocondrial de *C. glaucum* (Figura 3). Los tamaños observados concuerdan con los tamaños esperados en base al genoma mitocondrial de *C. edule* (Tabla 2). Los fragmentos amplificados cubren la totalidad del genoma mitocondrial de la especie de estudio (Fig. 4), permitiendo su posterior secuenciación utilizando la metodología de Oxford Nanopore Technologies (ONT). Tradicionalmente, los genomas mitocondriales completos eran secuenciados mediante amplificaciones de PCR de largo alcance seguida de múltiples reacciones de secuenciación de Sanger, utilizando fragmentos superpuestos para producir un ensamblaje completo. Para que esto sea posible, el genoma mitocondrial de interés debe tener un genoma mitocondrial con un orden génico muy similar a la secuencia de referencia. Si esto no ocurre y la secuencia de interés tiene un reordenamiento génico importante en comparación con la secuencia de referencia apropiada (habitualmente de una especie relacionada), la secuenciación del genoma



supondrá un desafío al conducir a reacciones de amplificación fallidas o amplicones de longitudes imprevistas (Gan *et al.*, 2019). Una de las desventajas de esta tecnología es la incapacidad de las lecturas cortas para abarcar regiones altamente repetitivas que existen en los genomas mitocondriales de algunos individuos y que puede contener información biológica importante y valiosa (Tørresen *et al.*, 2019). La tecnología de Oxford Nanopore nos permite generar secuencias largas de una manera rápida, sencilla y económica. El ADN mitocondrial de *C. glaucum* tiene una longitud de aproximadamente 14 Kpb, por lo que podría amplificarse en un solo fragmento, sin embargo, en base a datos previos en *C. edule*, la amplificación tiene lugar en 5 fragmentos.

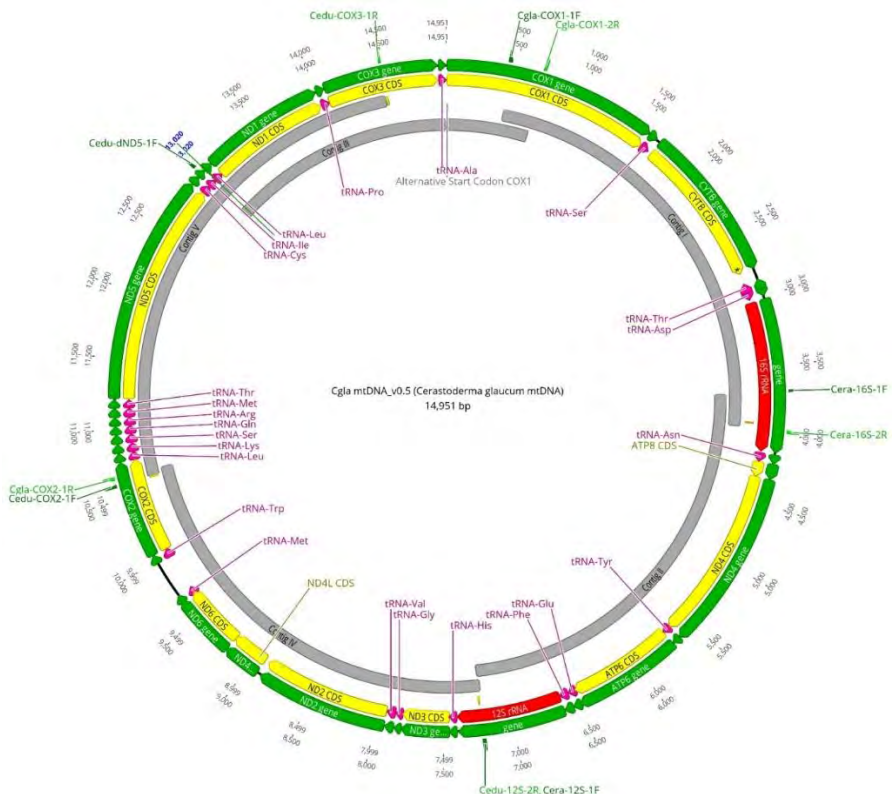


Figura 4. Estructura genética y estrategia de amplificación con los contig obtenidos y la localización de los cebadores en el genoma mitocondrial de *Cerastoderma glaucum*.

Las mejoras en la tecnología de Oxford Nanopore (ONT) como la precisión de lectura, estabilidad de la celda de flujo y algoritmo de secuenciación, han hecho más accesible la secuenciación, proporcionando a los investigadores individuales una capacidad de secuenciación comparable a las que antes solo se encontraban en los grandes centros de secuenciación, permitiendo, además, la secuenciación de genomas sin conocimiento previo de secuencia u orden génico (Gan et al., 2019; Tan et al., 2018). Se ha visto que esta metodología proporciona una solución a la incapacidad de secuenciación de zonas altamente repetitivas de las metodologías tradicionales (Kinkar et al., 2021). Esta tecnología permite generar lecturas superiores a 1Mb e incluso superiores a 2Mb si se unen computacionalmente (Hu et al., 2021). Una de las limitaciones de esta tecnología es su baja precisión, si la comparamos con secuenciación de lectura corta (Rang et al., 2018).

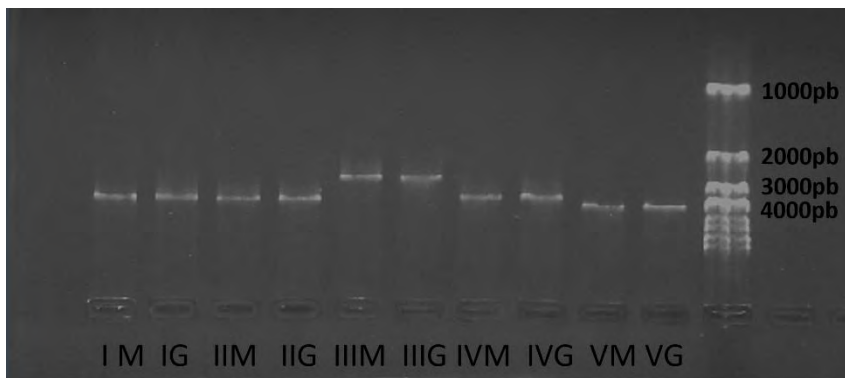


Figura 3. Se muestran los 5 fragmentos amplificados, tanto de músculo (M) como de gónada (G). A la derecha se encuentra el marcador, como referencia de la longitud de cada fragmento.

Hasta el momento, la diferenciación de ambas especies se basaba en el análisis de alozimas (Brock, 1978). Sin embargo, este método ha sido desplazado por el análisis de secuencias de ADN ya que las proteínas pierden su actividad biológica después de la muerte del animal y el ADN es más resistente y termoestable que las proteínas, además de contener más información (Teletchea, 2009). Entre las técnicas moleculares de diferenciación utilizadas en berberechos se encuentran el polimorfismo de ADN amplificado al azar (RAPD) (André et al., 1999), el polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción de productos de

PCR (PCR-RFLP) (Freire *et al.*, 2005) y la identificación de polimorfismos de único nucleótido (SNPs) desarrollado por Freire *et al.* en 2011. Por su parte, los avances en genómica permiten identificar y genotipar simultáneamente miles de SNPs utilizando el método 2b-RAD (Maroso *et al.*, 2019). A pesar de todo ello, es necesario encontrar un método de diferenciación de ambas especies rápido, sencillo, fiable y económico. Estudios previos utilizan el análisis de alozimas o genes presentes en el genoma mitocondrial, en concreto la subunidad I de la citocromo c oxidasa (*coxI*) para realizar estudios de variabilidad genética entre poblaciones (Tarnowska *et al.*, 2010;2012).

## CONCLUSIONES

La amplificación exitosa de los 5 fragmentos que conforman el genoma mitocondrial de *C. glaucum*, con tamaño esperado en base al genoma de *C. edule*, permite la secuenciación completa del genoma. La tecnología de Oxford Nanopore supera las limitaciones de las tecnologías tradicionales mediante PCR de largo alcance, facilitando la obtención de secuencias largas de una manera rápida, económica y accesible.

La obtención del genoma permitirá realizar estudios de genética poblacional y filogenética más completos al utilizar el genoma mitocondrial en su totalidad, abriendo la posibilidad de utilizar genes no contemplados hasta el momento y nos aportará información que permita generar metodologías de etiquetado genético (*DNA barcoding*), contribuyendo además a la correcta gestión de sus pesquerías. La comparación del genoma mitocondrial de *C. glaucum* con su especie congénica, *C. edule*, es crucial para comprender la variabilidad intraespecífica y la evolución del género *Cerastoderma*.

## REFERENCIAS

André, C., Lindegarth, M., Jonsson, P. R. y Sundberg, P. (1999). Species identification of bivalve larvae using random amplified polymorphic DNA (RAPD): Differentiation between *Cerastoderma edule* and *C. lamarcki*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 79(3), 563–565. <https://doi.org/10.1017/S0025315498000691>

- Bieler, R., Mikkelsen, P. M., Collins, T. M., Glover, E. A., González, V. L., Graf, D. L., Harper, E. M., Healy, J., Kawauchi, G. Y., Sharma P. P., Staubach, S., Strong, E. E., Taylor, J. D., Tëmkin, I., Zardus, J. D., Clark, S., Guzmán, A., McIntyre, E., Sharp, P. & Giribet, G. (2014). Investigating the Bivalve Tree of Life—an exemplar-based approach combining molecular and novel morphological characters. *Invertebrate Systematics*, 28(1), 32-115.
- Boore, J. L. & Brown, W. M. (1994). The complete DNA sequence of the mitochondrial genome of the black chiton *Katharina tunicata*. *Genetics*, 138:423–443
- Boore, J. L. (1999). Animal mitochondrial genomes. *Nucleic acids research*, 27(8), 1767-1780.
- Brock, V. (1978). Morphological and biochemical criteria for the separation of *Cardium glaucum* (Bruguiera) from *Cardium edule* (L.). *Ophelia*, 17(2), 207-214.
- Brock, V. (1991). An interdisciplinary study of evolution in the cockles, *Cardium* (*Cerastoderma*) *edule*, *C. glaucum*, and *C. lamarcki*. Vestjyds Forlag.
- Bruzos, A. L., Santamarina, M., García-Souto, D. et al. (2023). Somatic evolution of marine transmissible leukemias in the common cockle, *Cerastoderma edule*. *Nature Cancer*, 4, 1575–1591 <https://doi.org/10.1038/s43018-023-00641-9>
- Bucklin, A., Wiebe, P. H., Smolenack, S. B., Copley, N. J., Beaudet, J. G., Bonner, K. G., Färber-Lorda, J. & Pierson, J. J. (2007). DNA barcodes for species identification of euphausiids (Euphausiacea, Crustacea). *Journal of Plankton Research*, 29(6), 483-493.
- Carballal, M. J., Iglesias, D., Darriba, S., Cao, A., Mariño, J. C., Ramilo, A., No, E. & Villalba, A. (2016). Parasites, pathological conditions and resistance to *Martellia cochillia* in lagoon cockle *Cerastoderma glaucum* from Galicia (NW Spain). *Diseases of Aquatic Organisms*, 122(2), 137-152.

- Danic-Tchaleu, G., Heurtebise, S., Morga, B., & Lapègue, S. (2011). Complete mitochondrial DNA sequence of the European flat oyster *Ostrea edulis* confirms Ostreidae classification. *BMC research notes*, 4(1), 1-10.
- Freire, R., Arias, A., Méndez, J. & Insua, A. (2011). Identification of European commercial cockles (*Cerastoderma edule* and *C. glaucum*) by species-specific PCR amplification of the ribosomal DNA ITS region. *European Food Research and Technology*, 232(1), 83–86. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1369-5>.
- Freire, R., Insua, A. & Méndez, J. (2005). *Cerastoderma glaucum* 5S ribosomal DNA: Characterization of the repeat unit, divergence with respect to *Cerastoderma edule*, and PCR-RFLPs for the identification of both cockles. *Genome*, 48(3), 427–442. <https://doi.org/10.1139/G04-123>.
- Frézal, L., & Leblois, R. (2008). Four years of DNA barcoding: current advances and prospects. *Infection, Genetics and Evolution*, 8(5), 727-736.
- Gan, H. M., Grandjean, F., Jenkins, T. L., & Austin, C. M. (2019). Absence of evidence is not evidence of absence: Nanopore sequencing and complete assembly of the European lobster (*Homarus gammarus*) mitogenome uncovers the missing nad2 and a new major gene cluster duplication. *BMC genomics*, 20(1), 1-11.
- Ghiselli, F., Gomes-dos-Santos, A., Adema, C. M., Lopes-Lima, M., Sharbrough, J., & Boore, J. L. (2021). Molluscan mitochondrial genomes break the rules. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B*, 376(1825), 20200159.
- Herrera, N. D., Ter Poorten, J. J., Bieler, R., Mikkelsen, P. M., Strong, E. E., Jablonski, D., & Steppan, S. J. (2015). Molecular phylogenetics and historical biogeography amid shifting continents in the cockles and giant clams (Bivalvia: Cardiidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 93, 94-106.
- Hu, T., Chitnis, N., Monos, D., & Dinh, A. (2021). Next-generation sequencing technologies: An overview. *Human Immunology*, 82(11), 801-811.

- Hubert, N., Hanner, R., Holm, E., Mandrak, N. E., Taylor, E., Burridge, M., Watkinson, D., Dumont, P., Curry, A., Bentzen, P., Zhang, J., April, J. & Bernatchez, L. (2008). Identifying Canadian freshwater fishes through DNA barcodes. *PLoS one*, 3(6), e2490.
- Kinkar, L., Gasser, R. B., Webster, B. L., Rollinson, D., Littlewood, D. T. J., Chang, B. C., Stroehlein, A. J., Korhonen, P. K. & Young, N. D. (2021). Nanopore sequencing resolves elusive long tandem-repeat regions in mitochondrial genomes. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1811.
- Kirkendale, L. (2009). Their day in the sun: molecular phylogenetics and origin of photosymbiosis in the 'other' group of photosymbiotic marine bivalves (Cardiidae: Fraginae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 97(2), 448-465.
- Krakau, M., Jacobsen, S., Jensen, K. T., & Reise, K. (2012). The cockle *Cerastoderma edule* at Northeast Atlantic shores: genetic signatures of glacial refugia. *Marine Biology*, 159, 221-230.
- Lucentini, L., Plazzi, F., Sfriso, A. A., Pizzirani, C., Sfriso, A. & Chiesa, S. (2020). Additional taxonomic coverage of the doubly uniparental inheritance in bivalves: Evidence of sex-linked heteroplasmy in the razor clam *Solen marginatus* Pulteney, 1799, but not in the lagoon cockle *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 58(2), 561-570.
- Machado, M. M. & Costa, A. M. (1994). Enzymatic and morphological criteria for distinguishing between *Cardium edule* and *C. glaucum* of the Portuguese coast. *Marine Biology*, 120(4), 535-544. <https://doi.org/10.1007/BF00350073>.
- Malham, S. K., Hutchinson, T. H., & Longshaw, M. (2012). A review of the biology of European cockles (*Cerastoderma* spp.). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(7), 1563-1577.

- Maroso, F., Pérez de Gracia, C., Iglesias, D., Cao, A., Díaz, S., Villalba, A., Vera, M. & Martínez, P. (2019). A useful SNP panel to distinguish two cockle species, *Cerastoderma edule* and *C. glaucum*, co-occurring in some European beds, and their putative hybrids. *Genes*, 10(10), 760.
- Martínez, L., Freire, R., Arias-Pérez, A., Méndez, J., & Insua, A. (2015). Patterns of genetic variation across the distribution range of the cockle *Cerastoderma edule* inferred from microsatellites and mitochondrial DNA. *Marine Biology*, 162, 1393-1406.
- Metzger, M. J., Villalba, A., Carballal, M. J., Iglesias, D., Sherry, J., Reinisch, C., Muttray, A. F., Baldwin, S. A. & Goff, S. P. (2016). Widespread transmission of independent cancer lineages within multiple bivalve species. *Nature*, 534(7609), 705-709.
- Mikkelsen, N. T., Schander, C., & Willassen, E. (2007). Local scale DNA barcoding of bivalves (Mollusca): a case study. *Zoologica Scripta*, 36(5), 455-463.
- Milbury, C. A., & Gaffney, P. M. (2005). Complete mitochondrial DNA sequence of the eastern oyster *Crassostrea virginica*. *Marine biotechnology*, 7, 697-712.
- Ni, L., Li, Q., Kong, L., Huang, S., & Li, L. (2012). DNA barcoding and phylogeny in the family Mactridae (Bivalvia: Heterodonta): evidence for cryptic species. *Biochemical Systematics and Ecology*, 44, 164-172.
- Nikula, R., & Väinölä, R. (2003). Phylogeography of *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia: Cardiidae) across Europe: a major break in the Eastern Mediterranean. *Marine Biology*, 143, 339-350.
- Passamonti, M., Ricci, A., Milani, L., & Ghiselli, F. (2011). Mitochondrial genomes and Doubly Uniparental Inheritance: new insights from *Musculista senhousia* sex-linked mitochondrial DNAs (Bivalvia Mytilidae). *BMC genomics*, 12(1), 1-19.

- Persis, M., Chandra Sekhar Reddy, A., Rao, L. M., Khedkar, G. D., Ravinder, K., & Nasruddin, K. (2009). COI (cytochrome oxidase-I) sequence based studies of Carangid fishes from Kakinada coast, India. *Molecular Biology Reports*, 36, 1733-1740.
- Plazzi, F., Puccio, G., & Passamonti, M. (2016). Comparative large-scale mitogenomics evidences clade-specific evolutionary trends in mitochondrial DNAs of Bivalvia. *Genome Biology and Evolution*, 8(8), 2544-2564.
- Plazzi, F., Ribani, A., & Passamonti, M. (2013). The complete mitochondrial genome of *Solemya velum* (Mollusca: Bivalvia) and its relationships with Conchifera. *BMC genomics*, 14, 1-15.
- Rang, F. J., Kloosterman, W. P., & de Ridder, J. (2018). From squiggle to basepair: computational approaches for improving nanopore sequencing read accuracy. *Genome biology*, 19(1), 90.
- Reise K. (2003) Metapopulation structure in the lagoon cockle *Cerastoderma lamarcki* in the northern Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, 56, 252–258.
- Tan, M. H., Gan, H. M., Lee, Y. P., Linton, S., Grandjean, F., Bartholomei-Santos, M. L., Miller, A. D. & Austin, C. M. (2018). ORDER within the chaos: Insights into phylogenetic relationships within the Anomura (Crustacea: Decapoda) from mitochondrial sequences and gene order rearrangements. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 127, 320-331.
- Tarnowska, K., Chenuil, A., Nikula, R., Féral, J. P., & Wołowicz, M. (2010). Complex genetic population structure of the bivalve *Cerastoderma glaucum* in a highly fragmented lagoon habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 406, 173-184.
- Tarnowska, K., Krakau, M., Jacobsen, S., Wołowicz, M., Féral, J. P., & Chenuil, A. (2012). Comparative phylogeography of two sister (congeneric) species of cardiid bivalve: strong influence of habitat, life history and post-glacial history. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 107, 150-158.



- Teletchea, F. (2009). Molecular identification methods of fish species: Reassessment and possible applications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19(3), 265–293. <https://doi.org/10.1007/s11160-009-9107-4>.
- Ter Poorten, J. J. (2014). *Cardiidae* Lamarck, 1809. Accessed through: *World Register of Marine Species* at < <http://www.marinespecies.org/aphia.php>.
- Tørresen, O. K., Star, B., Mier, P., Andrade-Navarro, M. A., Bateman, A., Jarnot, P., Gruca, A., Grynberg, M., Kajava, A. V., Promponas, V. J., Anisimova, M., Jakobsen, K. S. & Linke, D. (2019). Tandem repeats lead to sequence assembly errors and impose multi-level challenges for genome and protein databases. *Nucleic acids research*, 47(21), 10994-11006.
- Vences, M., Thomas, M., Van der Meijden, A., Chiari, Y., & Vieites, D. R. (2005). Comparative performance of the 16S rRNA gene in DNA barcoding of amphibians. *Frontiers in zoology*, 2(1), 1-12.
- Villalba, A., Coimbra, R. M., Pampín, M., Iglesias, D., Costas, D., Mariño, C., Blanco, A., Vera, M., Domínguez, M., Cacabelos, E., Abella, E., Incera, M., Fernández Otero, R. & Martínez, P. (2023). A common garden experiment supports a genetic component underlying the increased resilience of common cockle (*Cerastoderma edule*) to the parasite *Marteilia cochillia*. *Evolutionary Applications*, 16(11), 1789-1804.
- Villalba, A., Iglesias, D., Ramilo, A., Darriba, S., Parada, J. M., No, E., Abollo, E., Molares, J. & Carballal, M. J. (2014). Cockle *Cerastoderma edule* fishery collapse in the Ría de Arousa (Galicia, NW Spain) associated with the protistan parasite *Marteilia cochillia*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 109(1), 55-80.
- Wang, H., Zhang, S., Li, Y. & Liu, B. (2010) Complete mtDNA of *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae) reveals the presence of an *atp8* gene, length variation and heteroplasmy in the control region. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part D* 5:256–264

- Wolstenholme, D. R. (1992). Animal mitochondrial DNA: structure and evolution. *International review of cytology*, 141, 173-216.
- Wu, X., Xu, X., Yu, Z., & Kong, X. (2009). Comparative mitogenomic analyses of three scallops (Bivalvia: Pectinidae) reveal high level variation of genomic organization and a diversity of transfer RNA gene sets. *BMC Research Notes*, 2, 1-7.
- Xunta de Galicia. (2023). Pesca de Galicia. Disponible en <https://www.pescadegalicia.gal>. Fecha de consulta: 25/11/2023.
- Yang, R., Wu, X., Yan, P., & Li, X. (2010). Using DNA barcodes to identify a bird involved in a birdstrike at a Chinese airport. *Molecular Biology Reports*, 37, 3517-3523.
- Zouros, E. (2013). Biparental inheritance through uniparental transmission: the doubly uniparental inheritance (DUI) of mitochondrial DNA. *Evolutionary Biology*, 40, 1-31.



# Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Lippia graveolens* extraído por distintos métodos, contra bacterias patógenas de tilapia

Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Lippia graveolens* extracted by different methods, against tilapia pathogenic bacteria

Josué Rodolfo García-Pérez<sup>1,2</sup>, Juan Francisco Pérez-Sabino<sup>3</sup>,  
Susana Mendoza-Elvira<sup>4</sup>, Antonio Jorge Ribeiro da Silva<sup>5</sup>,  
Juan Bautista Ulloa-Rojas<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.

<sup>2</sup>Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

<sup>3</sup>Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala,

<sup>4</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Estado de México, México.

<sup>5</sup>Instituto de Pesquisas de Produtos Naturais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>6</sup>Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Josué Rodolfo García-Pérez   [josuegarciap@profesor.usac.edu.gt](mailto:josuegarciap@profesor.usac.edu.gt)

Palabras clave |  
orégano,  
*Oreochromis niloticus*,  
acuicultura,  
*Aeromonas* spp.

RESUMEN | La utilización de aceites esenciales en la acuicultura es una solución prometedora para controlar enfermedades de diversas patologías. Sin embargo, aún existe incertidumbre para su validación, principalmente por la técnica de extracción e intensificación del proceso. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar la composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial (AE) de *Lippia graveolens*, extraído mediante las técnicas de hidrodestilación (escala laboratorio) y arrastre de vapor (escala semiindustrial). El AE se analizó mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, y la actividad antimicrobiana se determinó mediante la técnica de difusión en disco, utilizando cepas de *Aeromonas hydrophila* y *A. sobria* aisladas de peces enfermos en cultivos de tilapia en Guatemala. La técnica de hidrodestilación produjo un rendimiento del  $4,13 \pm 0,10\%$ , mientras que el método de arrastre de vapor obtuvo un rendimiento del  $3,44 \pm 0,18\%$ . En total, se identificaron 28 metabolitos secundarios, 23 componentes mediante la técnica de hidrodestilación y 25 componentes mediante el método de arrastre de vapor. Los metabolitos secundarios más abundantes, extraídos mediante la técnica de hidrodestilación, fueron timol (79,23%) y *p*-cimeno (8,12%), mientras que para el método de arrastre de vapor fueron timol (73,03%), *p*-cimeno (7,08%), (*E*)-cariofileno (4,2%) y  $\alpha$ -humuleno (2,52%); el resto de los metabolitos en ambos métodos presentaron un porcentaje inferior al 2%. El AE de *L. graveolens* extraído con cualquiera de los dos métodos de extracción inhibió el crecimiento de *A. hydrophila* y *A. sobria*, presentando halos de inhibición que variaron entre 24,79 a 39,36 mm.

Keywords |  
oregano,  
*Oreochromis niloticus*,  
aquaculture,  
*Aeromonas* spp.

ABSTRACT | The use of essential oils in aquaculture represents a promising solution for controlling diseases in different pathologies. However, uncertainties remain regarding their validation, primarily due to the extraction technique and intensification of the process. Therefore, the objective of the present study was to compare the chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil (EO) of *Lippia graveolens*, extracted using hydrodistillation (laboratory scale) and steam extraction (semi-industrial scale) techniques. The EO was analyzed by gas chromatography coupled to mass spectrometry and the antimicrobial activity was determined using the disc

diffusion technique,  
employing strains of  
*Aeromonas*

*hydrophila* and *A. sobria* isolated from diseased fish in tilapia cultures in Guatemala. The hydrodistillation technique produced a yield of  $4,13 \pm 0,10\%$ , while the steam extraction method obtained a yield of  $3,44 \pm 0,18\%$ . In total, 28 secondary metabolites were identified, 23 components by the hydrodistillation technique and 25 components by the steam extraction method. The most abundant secondary metabolites extracted by hydrodistillation were thymol (79,23%) and *p*-cymene (8,12%), while by steam distillation, thymol (73,03%), *p*-cymene (7,08%), (*E*)-caryophyllene (4,2%) and  $\alpha$ -humulene (2,52%) were predominant. The remaining metabolites in both methods constituted less than 2%. EO of *L. graveolens*, extracted using either method, inhibited the growth of *A. hydrophila* and *A. sobria*, showing inhibition zones ranging from 24,79 to 39,36 mm.

## INTRODUCCIÓN

La producción de tilapia en Guatemala se considera una industria económicamente rentable y de rápido crecimiento, con un aumento estimado de aproximadamente 14,37% desde 2010 hasta 2020 (FAO, 2022). El rápido crecimiento de este sector ha traído consigo diversos problemas, siendo el aumento de brotes de patógenos bacterianos el más relevante, ya que limita la producción y el comercio de la tilapia en Guatemala. Las bacterias patógenas más frecuentes en Guatemala pertenecen a las familias Aeromonadaceae, Pseudomonadaceae, Pasteurellaceae, Aerococcaceae, Comamonadaceae, Streptococcaceae, Alteromonadaceae y Enterobacteriaceae, de las cuales *Aeromonas sobria* y *A. hydrophila* son las bacterias patógenas más comunes en los cultivos de tilapia en Guatemala (García-Pérez & Marroquín-Mora, 2021; García-Pérez et al., 2022).

En la actualidad, para evitar pérdidas debido a patógenos bacterianos, se utilizan diversos medicamentos de uso veterinario administrados como aditivos en los alimentos o directamente en los organismos. Entre los productos veterinarios

más utilizados en la industria acuícola en Guatemala se encuentran los antibióticos de amplio espectro, como la oxitetraciclina, el florfenicol, la enrofloxacin y la fosfomicina (García-Pérez et al., 2021). El uso indiscriminado e irracional de estos antibióticos ha llevado a que las nuevas generaciones de patógenos bacterianos sean resistentes a ellos, especialmente para antibióticos como la oxitetraciclina y la fosfomicina (García-Pérez et al., 2021). Como resultado de esto, durante la última década se han evaluado diversas estrategias para reducir el uso de estos medicamentos y migrar hacia una producción sostenible, donde se reemplace el uso de antibióticos para controlar y eliminar los brotes bacterianos en las unidades de producción acuícola, mediante el uso de productos biodegradables, respetuosos con el medio ambiente y la salud pública.

Una propuesta a nivel mundial es el uso de extractos y aceites esenciales de diversas plantas medicinales, las cuales han demostrado tener propiedades antibacterianas, antiparasitarias, antifúngicas y antivirales (Olusola et al., 2013; Stratev et al., 2018; Suttili et al., 2018; Gabriel, 2019; Gupta et al., 2021). Los efectos positivos de estos compuestos son posibles debido a que las plantas son matrices complejas que contienen diversos metabolitos con diferentes grupos funcionales y polaridades, los cuales logran controlar o eliminar diferentes patógenos a través de rutas metabólicas distintas a las de los medicamentos convencionales (Dorman y Deans, 2000; Nazzaro et al., 2013).

Para extraer los metabolitos de las plantas medicinales, se deben utilizar diversos disolventes orgánicos con diferentes polaridades, con el fin de obtener extractos y aceites con efectos positivos para el control y eliminación de diversos agentes patógenos. Existen diversas técnicas para obtener los metabolitos secundarios de las plantas medicinales, las cuales implican el uso de equipos y una intensificación del proceso, desde la extracción en laboratorio (pequeña escala) hasta condiciones semiindustriales e industriales (Sarker et al., 2012). En el caso de la extracción de aceites esenciales, se pueden utilizar diferentes métodos como la destilación (maceración o percolación), el arrastre de vapor y la compresión directa. Aunque el proceso de extracción de los aceites esenciales pueda parecer sencillo, es importante tener en cuenta que la composición química puede variar según la técnica de extracción utilizada y el nivel de intensificación, lo cual puede afectar el producto final (Burt, 2004; Cassel et al., 2009).

En general, se han observado efectos positivos del uso de aceites esenciales en el control de patógenos bacterianos en la acuicultura mundial, la mayoría de los ensayos se han realizado a nivel de laboratorio, donde la extracción de los aceites esenciales se lleva a cabo en una escala muy pequeña (Guo *et al.*, 2019; Mazumder *et al.*, 2020; Metin *et al.*, 2021). Con el fin de intensificar la producción de aceites esenciales para su uso a nivel industrial, es necesario utilizar métodos de extracción a gran escala, lo cual ha generado incertidumbre a nivel científico, ya que dicha intensificación puede afectar la eficiencia del método utilizado y el producto obtenido. Durante el proceso de intensificación, varias condiciones de extracción pueden afectar, como el uso de diferentes disolventes y sus concentraciones, la variabilidad de la temperatura, la variabilidad de la presión, el tiempo de extracción, entre otros. Además, las plantas pueden presentar variaciones en su composición química según el lugar de recolección, el clima, el tipo de suelo, entre otras características (Ragab *et al.*, 2019).

A nivel mundial, el orégano ha sido ampliamente evaluado por su efecto contra patógenos bacterianos en diversas especies acuícolas, como peces y crustáceos (Alagawany *et al.*, 2020, 2021a; Alarcón-Rojo *et al.*, 2017), atribuyendo el efecto antimicrobiano a los compuestos timol y carvacrol. En Guatemala, *Lippia graveolens* es conocido como orégano, y crece en diversas condiciones ecológicas, desde tierras áridas hasta subhúmedas (Standley y Williams, 1970). El género *Lippia* muestra una gran plasticidad química, debido a la influencia de diversos parámetros biológicos y ecológicos, como la genética, la composición del suelo, la variabilidad climática y la época de cosecha, entre otros factores (Martínez-Natarén *et al.*, 2011, 2014), lo que provoca que el producto final tenga un perfil químico diverso. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar la composición química y la capacidad antimicrobiana (*in vitro*) del aceite esencial de *L. graveolens* extraído mediante hidrodestilación (a escala de laboratorio) y arrastre de vapor (a escala semiindustrial) en bacterias aisladas de los cultivos de tilapia en Guatemala.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención del material vegetal

Las hojas y las partes aéreas de *L. graveolens* (Familia: Verbenaceae) se obtuvieron de poblaciones silvestres en el departamento de Zacapa (N15°01'25" / W089°36'35" [180 m.s.n.m.]). La identificación taxonómica se verificó de acuerdo con la Flora de Guatemala (Standley & Williams, 1970). Las muestras fueron autenticadas por el Sr. Max Mérida de la Universidad de San Carlos. Se depositó una muestra botánica en el Herbario USCG CECON-USAC (Número de voucher: USCG 48322). El material vegetal recolectado se secó en un horno de corriente forzada a 45 °C durante 48 h, posteriormente se trituroó a 300-500 µm y finalmente se almacenó en bolsas de nylon a temperatura ambiente para análisis posteriores.

### Método de extracción del aceite esencial (AE)

#### Extracción por hidrodestilación (HD)

Se utilizó un aparato tipo Clevenger para la extracción del AE de acuerdo con lo propuesto por Majolo *et al.*, (2018). En cada extracción se utilizaron 30 g de material vegetal triturado que se colocó en un matraz de fondo redondo de 2.000 mL, cubriendo con agua del grifo todo el material vegetal. La extracción duró aproximadamente 240 minutos después de que el solvente iniciara a hervir. Este proceso se repitió tres veces de forma simultánea.

#### Extracción por arrastre de vapor (AV)

La extracción del AE se llevó a cabo en una planta piloto de alta presión, equipada con un recipiente extractor de 80 L, utilizando agua del grifo para generar la corriente de vapor. El equipo y la metodología utilizadas pertenecen al Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Para la extracción del AE se pesó una muestra de 3.178 g de *L. graveolens* ya triturada, la cual se colocó en el recipiente de extracción. Los parámetros de extracción del equipo fueron 25 psi



(interna), con un flujo de vapor a temperatura de 120°C, la extracción duró 240 minutos. Este proceso se repitió tres veces.

Los aceites esenciales extraídos a través de las dos metodologías fueron recolectados y almacenados a 4 °C en frascos de vidrio color ámbar de 30 mL. El rendimiento de AE se estimó a través de la siguiente fórmula:  $Y(\%)=M/MV \times 100$ , donde M es la masa de AE obtenida y MV es la masa del material vegetal seco con humedad menor del 10%.

### Análisis de cromatografía de gases (GC) y espectrometría de masas (MS)

El análisis por masa GC/MS se realizó con un equipo Shimadzu 2010 Plus acoplado con un detector selectivo (MSD) Shimadzu QP-2010 Plus, y equipado con una columna de sílice fundida capilar DB5-MS (30 m, 0,25 mm de D.I., 0,25 µm de espesor de película). La temperatura del horno se programó de 60 °C a 246 °C y a 3 °C/min y luego se mantuvo isotérmicamente a 246 °C durante 20 min. Se utilizó He (99,99%) como gas portador con un caudal de 1,03 mL/min; con una relación de división de 1:50. Los espectros de masas se tomaron a 70 eV. Los valores de m/z se registraron en el rango de m/z 40–700 Da. Los componentes fueron identificados por sus espectros de masas e índices de retención, comparados con valores reportados en la literatura (Adams, 2007). Las cantidades relativas de los componentes se calcularon en función de las áreas de los picos de GC sin usar factores de corrección.

### Actividad antimicrobiana

#### Cepas y cultivo de bacterias

Las bacterias *Aeromonas hydrophila* (cepas: MX02, MX14 y MX15) y *A. sobria* (cepas: MX01, MX06 y MX07) utilizadas en este estudio se obtuvieron de la colección de bacterias del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Estas cepas fueron recolectadas de peces con signos de Aeromonadiosis en diversos sistemas de producción de tilapia en Guatemala. Las bacterias se cultivaron en agar de soja Trypticase (TSA: Merck®) con 5% de sangre de carnero a 28 °C durante 24 h antes de ser utilizadas en las pruebas de susceptibilidad antimicrobiana.

## Susceptibilidad antimicrobiana

El efecto de los diferentes AE de *L. graveolens*, obtenidos por HD y AV, se evaluó mediante el método de difusión en disco según Bauer et al., (1966) y considerando los cambios realizados por Mazumder et al., (2020). Cada cepa bacteriana se trabajó de forma individual por triplicado. Las suspensiones bacterianas se ajustaron a una concentración de  $1 - 2 \times 10^8$  CFU/mL en solución estéril tamponada de fosfato (PBS), y luego se esparcieron en la superficie de agar Muller-Hinton (MHA: Merck®). Posteriormente, se impregnaron tres discos de papel (BBL:Sensi-Disc®) con un diámetro de 6 mm, con 10 µL de cada AE, por cada cepa de bacteria a analizar. Para el control positivo, se utilizaron discos estándar de oxitetraciclina (OXI: 40 µg) de AVIMEX®. Cada AE y cepa bacteriana se evaluó por triplicado. Las placas se incubaron a 28 °C durante 24 horas. Los diámetros de la zona de inhibición (IZD) se midieron con una precisión de 0,01 mm después de 24 h de incubación. La interpretación de la actividad antibacteriana de los AE se determinó según los criterios establecidos por Pascual et al., 2001 y considerando los cambios realizados por García-Pérez & Marroquin-Mora (2020), quienes consideran que un determinado extracto de planta, aceite esencial u otro producto de origen natural, tiene acción antibacteriana cuando produce una inhibición igual o mayor al 50% de inhibición con respecto al antibiótico de mayor uso. En el caso de Guatemala, el antibiótico más utilizado y el único permitido para la industria de tilapia es oxitetraciclina.

## Análisis de los datos

Se evaluaron los rendimientos de los AE de *L. graveolens* y los diámetros de la zona de inhibición para el ensayo de difusión en disco a través de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida por la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon ( $p < 0,05$ ). El software a utilizar fue R, con la paquetería agricolae (R Core Team, 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en el rendimiento obtenido entre los dos métodos de extracción de AE. El método de hidrodestilación ( $4,13 \pm 0,10\%$

a escala de laboratorio) y el método de arrastre de vapor ( $3,44 \pm 0,18\%$  a escala semiindustrial) mostraron una diferencia en rendimiento de 0,69%. Estos resultados concuerdan con lo reportado por otros autores, quienes encontraron que el método de extracción por hidrodestilación a escala de laboratorio es más eficiente para extraer AE de plantas como el orégano (género: *Origanum*), laurel (género: *Laurus*) y otras plantas (Soto-Armenta et al., 2017; Ragab et al., 2019; Řebíčková et al., 2020). Esto se debe a que el uso de equipos de extracción pequeños proporciona una mayor eficiencia, ya que las variables como la temperatura y la presión son más estables (Filly et al., 2014; Elyemni et al., 2019; Belwal et al., 2020). La técnica de extracción debe buscar obtener el mayor rendimiento de AE en periodos cortos de tiempo y con el menor costo de producción posible. Si se pretende utilizar en la industria acuícola, sería necesario producir AE de *L. graveolens* a gran escala de manera eficiente, teniendo en cuenta la mejor relación producción-costo. Por lo tanto, se deben considerar parámetros óptimos para aumentar el rendimiento, y se recomienda validar la variación de parámetros como el tiempo de extracción, el flujo de vapor y la porosidad del material, ya que estos podrían afectar directamente el rendimiento de extracción (Prado et al., 2011).

Con el método de hidrodestilación a escala de laboratorio, se identificaron 23 componentes volátiles en el AE, que representan el 99,58% de la composición total. Los compuestos mayoritarios fueron: timol (79,23%) y  $\rho$ -cimeno (8,12%), mientras que el resto de los componentes volátiles constituyeron menos del 2% de la composición individual. Por otra parte, con el método de extracción por arrastre de vapor a escala semiindustrial, se identificaron 25 componentes volátiles, que representaron el 99,75% de la composición total del aceite esencial. Los compuestos mayoritarios fueron timol (73,03%),  $\rho$ -cimeno (7,08%), *E*-cariofileno (4,20%) y  $\alpha$ -humuleno (2,52%); el resto de los componentes volátiles constituyeron menos del 2% de la composición individual del aceite esencial (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química (%) de los aceites esenciales de *Lippia graveolens* extraídos con dos métodos: hidrodestilación y destilación por vapor.

Nombre	Hidrodestilación		Destilación por vapor	
	%	RT	%	RT
4-metil-2-pentanol	0,12	3,14	0,00	0,00
Artemisia trieno	0,29	5,21	0,00	0,00
$\alpha$ -Tuyeno	0,20	5,41	0,18	5,20
$\alpha$ -Pino	0,00	0,00	0,14	5,40
Mirceno	1,74	6,91	1,67	6,90
$\alpha$ -Terpineno	0,56	7,84	0,79	7,83
$\rho$ -Cimeno	8,12	8,11	7,08	8,10
Limoneno	0,33	8,26	0,30	8,25
1,8-Cineol	0,85	8,37	0,27	8,36
$\gamma$ -Terpineno	1,50	9,30	1,90	9,28
Hidrato de <i>cis</i> -sabineno	0,26	9,77	0,27	9,76
Linalol	0,33	10,91	0,46	10,90
Hidrato de <i>trans</i> -sabineno	0,33	10,98	0,22	11,02
Umbellulona	0,00	0,00	0,20	14,00
Acetato de santolinilo	0,25	13,94	0,00	0,00
4-ol-terpineno	1,14	16,44	1,11	14,23
Z-ocimenona	0,00	0,00	0,18	18,76
Metil éter de timol	0,48	18,84	0,78	16,35
Timol	79,23	19,60	73,03	19,09
Carvacrol	0,21	24,72	0,70	19,54
<i>E</i> -cariofileno	1,54	25,34	4,20	24,60
$\alpha$ - <i>trans</i> -Bergamoteno	0,27	26,26	0,96	25,24
$\alpha$ -Humuleno	0,88	0,00	2,52	26,15
$\beta$ -Bisaboleno	0,21	28,56	1,13	28,45
$\gamma$ -Cupreneno	0,00	0,00	0,11	29,82
Óxido de cariofileno	0,51	31,51	0,93	31,40
Epóxido de humuleno II	0,23	32,65	0,41	32,54
Acetona 5Z,9E-farnesilo	0,00	0,00	0,21	42,99
TOTAL	99,58		99,75	

Fuente: Elaboración propia basada en datos de laboratorio. Nota: %: porcentaje del área; RT: tiempo de retención.

Los compuestos  $\alpha$ -pino, umbellulona, Z-ocimenona,  $\gamma$ -cupreneno y 5Z,9E-farnesilacetona no se encontraron en el AE extraído mediante el método de hidrodestilación (HD). Del mismo modo, los compuestos 4-methyl-2-pentanol, artemisia trieno y acetato de santolinilo no se encontraron utilizando la metodología de arrastre de vapor (AV). Es importante destacar que ambas técnicas permitieron identificar 20 compuestos en común, aunque con diferentes

contenidos porcentuales relativos. Los compuestos que presentaron las mayores variaciones fueron el timol, *E*-cariofileno,  $\alpha$ -humuleno y  $\rho$ -cimeno. Las diferencias porcentuales de estos compuestos entre el método HD y AV fueron de 6,20%, 2,66%, 1,64% y 1,04%, respectivamente. El resto de los compuestos mostraron diferencias inferiores al 1% en su composición individual.

Las variaciones en la composición química de los AE de *L. graveolens*, obtenidos mediante los dos métodos de extracción, tanto en términos porcentuales como en los compuestos químicos identificados, están relacionadas posiblemente con procesos de degradación como hidrólisis, oxidación y transesterificación. Estos procesos pueden ser causados por el tiempo de extracción, las condiciones físicas de extracción (temperatura y presión) y el uso de agua o vapor de agua como disolvente. Estudios previos sobre la extracción de AE de *Origanum majorana* también han mostrado resultados similares. En ese caso, el método de hidrodestilación fue más eficiente en términos de rendimiento (0,73%) que el arrastre de vapor (0,66%), pero menos eficiente que otros métodos como la extracción por microondas (0,80%). Además, el método de hidrodestilación mostró un mayor porcentaje de monoterpenos oxigenados (66,8%), mientras que el arrastre de vapor mostró un mayor porcentaje de monoterpenos hidrocarburos (46,5%) (Ragab et al., 2019).

En cuanto a los sesquiterpenos oxigenados, se encontró un porcentaje de 3,6% con el método de hidrodestilación, mientras que con el arrastre de vapor fue de 0,7%. Por lo tanto, la composición química de los AE puede variar considerablemente según se realice la extracción a nivel de laboratorio, escala semiindustrial o industrial, lo que puede conducir a la hidrólisis de ésteres en alcoholes y ácidos, obteniendo composiciones químicas diferentes e incluso rendimientos heterogéneos.

En cuanto a la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de *L. graveolens* obtenidos mediante los métodos de hidrodestilación y arrastre de vapor, se observa en la figura 1 una alta capacidad antimicrobiana en ambos casos, aunque con diferentes grados de actividad antibacteriana contra *A. hydrophila* y *A. sobria*. Se observan halos de inhibición que varían de 32,73 a 39,36 mm para la bacteria *A. hydrophila* y de 24,79 a 33,76 mm para *A. sobria*. No se observa diferencia significativa entre los aceites esenciales extraídos por

hidrodestilación y arrastre de vapor, pero sí se observa diferencia significativa al comparar entre las diferentes cepas del género *Aeromonas* spp.

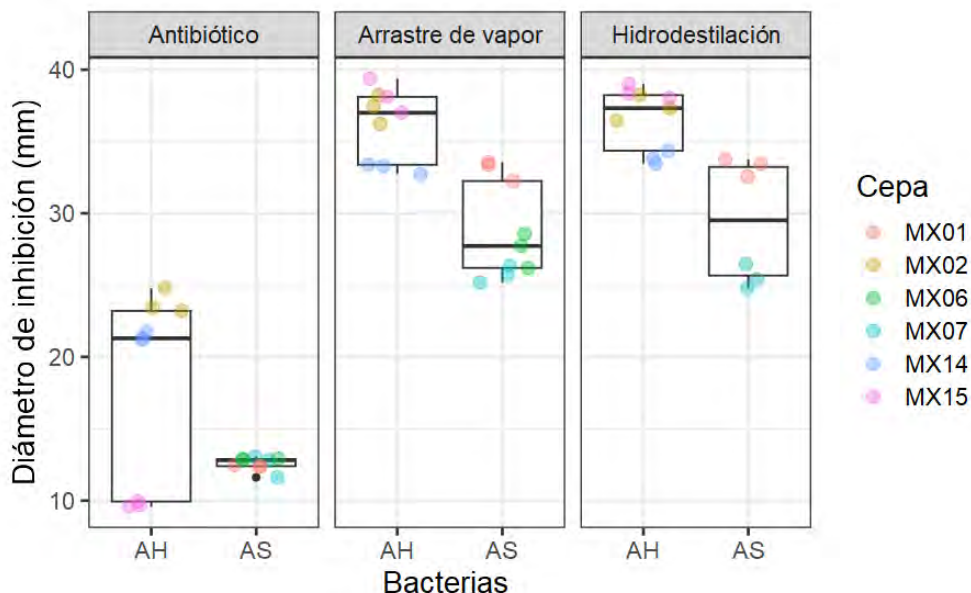


Figura 1. Actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de *L. graveolens* extraídos con los métodos de HD y AV. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de laboratorio.

A partir de los resultados presentados, se puede inferir que el efecto antimicrobiano del aceite esencial (AE) de *L. graveolens* puede atribuirse al compuesto mayoritario; timol. Esto concuerda con diversos estudios en los que se reporta que el timol, como componente principal, posee una alta capacidad bactericida contra bacterias Gram negativas y Gram positivas. Se infiere que el timol provoca la desintegración de la membrana externa de las bacterias (Helander et al., 1998; Lambert et al., 2001; Majolo et al., 2017; García-Pérez et al., 2022).

Sin embargo, nuestros resultados difieren de lo propuesto por Řebíčková et al. (2020), quienes sugieren que el efecto antimicrobiano de los aceites obtenidos por arrastre de vapor e hidrodestilación puede diferir debido a la variabilidad en la composición porcentual de los metabolitos extraídos. En nuestro estudio, a pesar

de haberse determinado una diferencia del 6,20% en la proporción del componente mayoritario (timol) entre los dos métodos de extracción, esta diferencia no afectó la capacidad inhibitoria contra *A. hydrophila* y *A. sobria*. El comportamiento de cada cepa bacteriana en respuesta al AE de *L. graveolens* fue diverso, lo que sugiere que las diferencias en el efecto antimicrobiano pueden ser atribuidas a cambios constantes en la evolución de la membrana externa de *Aeromonas* spp. Estos cambios pueden hacer que la membrana sea más fuerte dependiendo de los estresores presentes en el ecosistema. Bajo esta circunstancia, compuestos como el timol pueden no presentar una fuerte actividad antimicrobiana, ya que es difícil romper la membrana externa y aumentar la permeabilidad del ATP para controlar el crecimiento bacteriano.

Por lo tanto, para una evaluación más rigurosa del efecto bactericida del AE de *L. graveolens*, se recomienda validar su actividad con diversas cepas del mismo género bacteriano. Esto permitirá evitar la sobreestimación o subestimación de la capacidad antibacteriana del aceite esencial, considerando la biodiversidad bacteriana presente en la acuicultura.

## CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que los aceites esenciales (AE) de *Lippia graveolens*, obtenidos mediante los métodos de arrastre de vapor e hidrodestilación, exhiben una actividad antibacteriana similar contra cepas de *Aeromonas* spp. aisladas de tilapia, a pesar de las variaciones en su composición química y proporciones. Por lo tanto, se puede concluir que ambos AE siguen siendo efectivos para el control del género *Aeromonas*. Además, los resultados sugieren que la actividad antibacteriana de *L. graveolens* puede atribuirse a la presencia de compuestos monoterpenos y terpenoides, especialmente el timol. Estos compuestos pueden desempeñar un papel crucial en la capacidad del AE para combatir las bacterias.

## Agradecimientos

Esta investigación constituye parte del segundo capítulo de la tesis doctoral del primer autor, del programa Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo

(DOCINADE), Instituto Tecnológico de Costa Rica, financiado por la Universidad de San Carlos de Guatemala cohorte 2017.

## REFERENCIAS

- Adams, R. P. (2007). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy*. Allured Pub. Corp.
- Alagawany, M., Farag, M. R., Abdelnour, S. A., & Elnesr, S. S. (2021). A review on the beneficial effect of thymol on health and production of fish. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 632–641. <https://doi.org/10.1111/raq.12490>
- Alagawany, M., Farag, M. R., Salah, A. S., & Mahmoud, M. A. (2020). The role of oregano herb and its derivatives as immunomodulators in fish. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2481–2492. <https://doi.org/10.1111/raq.12453>
- Alarcon-Rojo, A. D., Janacua-Vidales, H., & Renteria-Monterrubio, A. (2017). *Oregano essential oil in animal production*. In Active Ingredients from Aromatic and Medicinal Plants. InTech. <https://doi.org/10.5772/66703>
- Belwal, T., Chemat, F., Venskutonis, P. R., Cravotto, G., Jaiswal, D. K., Bhatt, I. D., Devkota, H. P., & Luo, Z. (2020). Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 127, 115895. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115895>
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Cassel, E., Vargas, R. M. F., Martínez, N., Lorenzo, D., & Dellacassa, E. (2009). Steam distillation modeling for essential oil extraction process. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.017>



- Dorman, H. J. D., & Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 308–316.
- Elyemni, M., Louaste, B., Nechad, I., Elkamli, T., Bouia, A., Taleb, M., Chaouch, M., & Eloutassi, N. (2019). Extraction of Essential Oils of *Rosmarinus officinalis* L. by two different methods: hydrodistillation and microwave assisted hydrodistillation. *Scientific World Journal*, 2019, 659432. <https://doi.org/10.1155/2019/3659432>
- FAO. (2022). *Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series*. (versión v4.02.08).
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. (2014). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. *Food Chemistry*, 150, 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.139>
- Gabriel, N. N. (2019). Review on the progress in the role of herbal extracts in tilapia culture. *Cogent Food and Agriculture*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1619651>
- García-Pérez, J., & Marroquín-Mora, D. (2021). Evaluación *in vitro* de extractos de plantas medicinales como posibles agentes antimicrobianos para bacterias patógenas en tilapia. *Kuxulkab'*, 27(57), 27–35. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n57.3702>
- García-Pérez, J., Pérez-Sabino, J. F., Mendoza-Elvira, S., Ribeiro da Silva, A., & Ulloa-Rojas, J. B. (2022). In vitro assay of *Lippia graveolens* and *Lippia alba* extracts against *Aeromonas* spp isolated from tilapia (*Oreochromis niloticus*). *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 17(1), 28–46. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.6452>
- García-Pérez, J., Ulloa-Rojas, J. B., & Mendoza-Elvira, S. (2021). Bacterial pathogens and their antimicrobial resistance in tilapia culture in Guatemala. *Uniciencia*, 35(2), 1–17. <https://doi.org/10.15359/RU.35-2.4>

- Guo, W. L., Deng, H. W., Wang, F., Wang, S. F., Zhong, Z. H., Sun, Y., Chen, X. F., Wang, J. H., & Zhou, Y. C. (2019). In vitro and in vivo screening of herbal extracts against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 503, 412–421. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.024>
- Gupta, N., Kar, S. R., & Chakraborty, A. (2021). A Review on medicinal plants and immune status of fish. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 25(2), 897–912. [www.ejabf.journals.ekb.eg](http://www.ejabf.journals.ekb.eg)
- Helander, I. M., Alakomi, H.-L., Latva-Kala, K., Mattila-Sandholm, T., Pol, I., Smid, E. J., Gorris, L. G. M., & Von Wright, A. (1998). Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3590–3595. <https://doi.org/10.1021/jf980154m>
- Lambert, R. J. W., Skandamis, P. N., Coote, P. J., & Nychas, G.-J. E. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, 1(91), 453–462. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01428.x>
- Majolo, C., da Rocha, S. I. B., Chagas, E. C., Chaves, F. C. M., & Bizzo, H. R. (2017). Chemical composition of *Lippia* spp., essential oil and antimicrobial activity against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research*, 48(5), 2380–2387. <https://doi.org/10.1111/are.13073>
- Majolo, C., Pilarski, F., Chaves, F. C. M., Bizzo, H. R., & Chagas, E. C. (2018). Antimicrobial activity of some essential oils against *Streptococcus agalactiae*, an important pathogen for fish farming in Brazil. *Journal of Essential Oil Research*, 30(5), 388–397. <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1487343>
- Martínez-Natarén, D. A., Parra-Tabla, V., Dzib, G., & Calvo-Irabién, L. M. (2011). Morphology and density of glandular trichomes in populations of Mexican oregano (*Lippia graveolens* H.B.K., Verbenaceae), and the relationship between trichome density and climate. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 138(2), 134–144. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-10-00007.1>

- Martínez-Natarén, D. A., Parra-Tabla, V., Ferrer-Ortega, M. M., & Calvo-Irabién, L. M. (2014). Genetic diversity and genetic structure in wild populations of Mexican oregano (*Lippia graveolens* H.B.K.) and its relationship with the chemical composition of the essential oil. *Plant Systematics and Evolution*, 300(3), 535–547. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0902-y>
- Mazumder, A., Choudhury, H., Dey, A., & Sarma, D. (2020). Bactericidal activity of essential oil and its major compound from leaves of *Eucalyptus maculata* Hook. Against two fish pathogens. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 23(1), 149–155. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1729248>
- Metin, S., Didinen, B. I., Telci, I., & Diler, O. (2021). Essential oil of *Mentha suaveolens* Ehrh., composition and antibacterial activity against bacterial fish pathogens. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 93. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120190478>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>
- Olusola, S. E., Emikpe, B., & Olaifa, F. (2013). The potentials of medicinal plants extracts as bio-antimicrobial in aquaculture. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 3(3), 404–412. <https://www.researchgate.net/publication/285897080>
- Prado, J. M., Prado, G. H. C., & Meireles, M. A. A. (2011). Scale-up study of supercritical fluid extraction process for clove and sugarcane residue. *Journal of Supercritical Fluids*, 56(3), 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.10.036>
- Ragab, T. I. M., el Gendy, A. N. G., Saleh, I. A., & Esawy, M. A. (2019). Chemical composition and evaluation of antimicrobial activity of the *Origanum majorana* essential oil extracted by microwave-assisted extraction, conventional hydro-distillation and steam distillation. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 22(2), 563–573. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1611486>

- Řebíčková, K., Bajer, T., Šilha, D., Ventura, K., & Bajerová, P. (2020). Comparison of chemical composition and biological properties of essential oils obtained by hydrodistillation and steam distillation of *Laurus nobilis* L. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(4), 495–504. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00834-y>
- Sarker, S. D., Latif, Z., & Gray, A. I. (2012). *Natural Products Isolation*, Second Edition Natural Products Isolation Second Edition.
- Soto-Armenta, L. C., Sacramento-Rivero, J. C., Acereto-Escoffié, P. O., Peraza-González, E. E., Reyes-Sosa, C. F., & Rocha-Uribe, J. A. (2017). Extraction yield of essential oil from *Lippia graveolens* leaves by steam distillation at laboratory and pilot scales. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 20(3), 610–621. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1331756>
- Stratakos, A. C., & Koidis, A. (2015). *Methods for extracting essential oils*. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 31–38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00004-3>
- Stratev, D., Zhelyazkov, G., Noundou, X. S., & Krause, R. W. M. (2018). Beneficial effects of medicinal plants in fish diseases. *Aquaculture International*, 26(1), 289–308. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0219-x>
- Sutili, F. J., Gatlin, D. M., Heinzmann, B. M., & Baldisserotto, B. (2018). Plant essential oils as fish diet additives: benefits on fish health and stability in feed. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 716–726. <https://doi.org/10.1111/raq.12197>

# Caracterización preliminar de proteinasas y lipasas obtenidas a partir de residuos de procesamiento del esturión ruso

## Preliminary characterization of proteinases and lipases obtained from Russian sturgeon processing waste

Clara Liebana<sup>1</sup>, María Victoria Laitano<sup>1</sup>,  
Alejandro Peretta<sup>2</sup>, Ignacio Quartiani<sup>2</sup>,  
Ivana Soledad Friedman<sup>1</sup>, Yamila Eliana Rodríguez<sup>1</sup>,  
Juana Cristina del Valle<sup>1</sup>, Analía Verónica Fernández-Giménez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), FCEyN, UNMdP-CONICET.  
CC1260. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos  
(Unidad Académica Patología Biología y Cultivo de Organismos Acuáticos),  
Facultad de Veterinaria – Universidad de la República (Udelar),  
Uruguay

Clara Liebana  [claraliebana166@gmail.com](mailto:claraliebana166@gmail.com)

Palabras clave |  
Biotecnología,  
residuos acuícolas,  
proteinasas,  
lipasas,  
esturión ruso

RESUMEN | En busca de un aprovechamiento integral de los residuos provenientes de la faena de esturión ruso (*Acipenser gueldenstaedtii*) para la obtención de caviar, en este trabajo se propuso caracterizar las enzimas digestivas de esturión ruso con fines biotecnológicos. Se utilizaron muestras de intestino de 6 ejemplares faenados en las instalaciones de Esturiones de Río Negro (Durazno, Uruguay). Se determinó la actividad específica de proteinasas alcalinas y de lipasas a distintos valores de pH (7, 8, 9, 10, 11) y temperatura (10, 25, 40, 55°C), así como también su estabilidad a distintos tiempos de incubación (0, 30, 60, 120 min). Las proteinasas presentaron mayor actividad a pH 9 y 10 y fueron estables a todas las condiciones de pH evaluadas. La actividad de estas enzimas fue más alta a 25°C y fueron estables a 10 y 25°C, mientras que a 40 y 55°C la actividad disminuyó

significativamente a partir de los 30 min de incubación. La actividad de lipasas más alta se registró a pH 8, mientras que fueron estables en todo el rango de pH evaluado (7, 8, 9, 10). Sin embargo, no presentaron actividad a pH 11. Presentaron mayor actividad a 25°C y estabilidad hasta los 120 minutos excepto a los 55°C, donde se observó una reducción de la actividad enzimática. Estos resultados preliminares demuestran que es posible revalorizar residuos de esturión, para la obtención de enzimas con buenas propiedades de actividad y estabilidad en el tiempo, promoviendo la puesta en valor de este residuo y la sostenibilidad de la acuicultura.

**Keywords |**  
Biotechnology,  
aquaculture waste,  
proteinases,  
lipases,  
Russian sturgeon.

**ABSTRACT |** In pursuit of a comprehensive utilization of waste generated from Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) processing for caviar production, this study aimed to characterize the digestive enzymes of Russian sturgeon for biotechnological purposes. Samples of the intestines from 6 specimens caught at Esturiones de Río Negro facilities (Durazno, Uruguay) were used. The specific activity of alkaline proteinases and lipases was determined at different pH values (7, 8, 9, 10, 11) and temperatures (10, 25, 40, 55°C), as well as their stability at various incubation times (0, 30, 60, 120 min). Proteinases exhibited higher activity at pH 9 and 10 and remained stable under all pH conditions evaluated. The enzyme activity was highest at 25°C and stable at 10 and 25°C, but it significantly decreased at 40 and 55°C after 30 minutes of incubation. Lipases exhibited the highest activity at pH 8 and remained stable across the entire pH range evaluated (7, 8, 9, 10), with no activity observed at pH 11. They displayed the highest activity at 25°C and stability up to 120 minutes, except at 55°C, where a reduction in enzymatic activity was observed. These preliminary results demonstrate the possibility of revaluing sturgeon waste for obtaining enzymes with favorable activity and stability properties over time, thereby promoting the valorization of this waste and the sustainability of aquaculture.

## INTRODUCCIÓN

El esturión es un pez de alto valor económico y su cultivo se ha incrementado exponencialmente en los últimos 20 años con el fin de satisfacer la creciente demanda de caviar y reducir la presión sobre el esturión salvaje, el cual se encuentra en peligro de extinción (Bronzi *et al.*, 2029; Meng *et al.*, 2023). Durante el proceso de faenado de esta especie se extraen las huevas (de donde se obtiene el caviar) y el fillet, mientras que el resto de las partes del cuerpo constituye un residuo que no está siendo puesto en valor.

Particularmente, las vísceras de pescado extraídas a partir de estos residuos son una fuente valiosa de enzimas digestivas con numerosas aplicaciones industriales. Sin embargo, se requiere una caracterización previa de los parámetros iniciales de las mismas, para luego incluirlas en procesos biotecnológicos de manera más viable (Friedman y Fernandez-Gimenez, 2023).

Hasta la actualidad, se han caracterizado las enzimas digestivas de esturión siberiano *Acipenser baerii* (Babaei *et al.*, 2017; Mohseni *et al.*, 2020), esturión Persa *Acipenser persicus* (Babaei *et al.*, 2011), esturión del Adriático *Acipenser naccarii* (Furné *et al.*, 2005; 2008; Sanz *et al.*, 2011), esturión esterlete *Acipenser ruthenus* (Wiszniewski *et al.*, 2022) esturión amur *Acipenser schrenckii* (Xu *et al.*, 2012). En lo que respecta al esturión ruso *Acipenser gueldenstaedtii* existen pocos trabajos que evalúen el efecto de diferentes dietas sobre sus enzimas digestivas (Chen *et al.* 2021; Kamaszewski *et al.*, 2014). Únicamente el trabajo de Nevalenny *et al.*, (2017) ha caracterizado en particular las enzimas fosfatasa alcalina y proteinasas caseinolíticas de su intestino. Sin embargo, no se evidencian antecedentes donde se realice un análisis global de la actividad de las enzimas digestivas de la especie con fines biotecnológicos.

En este trabajo se propuso caracterizar las enzimas digestivas de esta especie con fines biotecnológicos. Así, el objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización parcial de las proteinasas alcalinas y lipasas de *A. gueldenstaedtii* en diferentes condiciones de pH y temperatura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de las muestras y preparación de extractos crudos

Se utilizaron muestras de intestino de 6 ejemplares de la empresa Esturiones del Rio Negro S.A (Black River Caviar). Los intestinos fueron disecados en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República de Montevideo (UDELAR), refrigerados a -80°C y transportados a la Unmdp. Los mismos fueron triturados y homogeneizados en buffer Tris HCl 50 mM, pH 7 (1:2 p/v) y posteriormente se centrifugaron a 10.000 g durante 30 min a 4 °C. Los sobrenadantes se separaron y almacenaron hasta su uso a -20 °C como extractos crudos para todos los ensayos enzimáticos.

### Ensayos enzimáticos

Se determinó la proteína soluble según el método de Bradford (1976) usando seroalbúmina como proteína estándar, y se expresó como miligramos de proteína por mililitro de extracto crudo. Se determinó la actividad de proteinasas alcalinas utilizando azocaseína 0,5% como sustrato (García Carreño, 1992) y la actividad de lipasas con  $\beta$ -Naftil caprilato como sustrato (Nolasco-Soria et al., 2018). Se expresó como actividad específica (U/mg de proteína; donde U equivale al cambio de absorbancia por minuto). Se determinó la actividad de proteinasas y lipasas a distintos pHs (7, 8, 9, 10 y 11) para evaluar el pH óptimo y la estabilidad enzimática en el tiempo a los distintos pHs. Por otro lado, se determinó la actividad enzimática a distintas temperaturas (10, 25, 40 y 55 °C) para evaluar la temperatura óptima y la estabilidad enzimática en el tiempo a las distintas temperaturas.

## RESULTADOS

El efecto de la variación de pH y temperatura sobre la actividad específica de proteinasas alcalinas y lipasas se presenta en la Fig. 1. Respecto a la actividad proteolítica a distintos pHs, se evidenció que la actividad más alta fue a pH 9 y 10, mientras que estas enzimas fueron estables en todos los pHs evaluados (Fig. 1a). La actividad de estas enzimas fue mayor a 25°C, las enzimas son estables a 10 y 25°C, sin embargo, a 40 y 55°C se redujo la actividad enzimática a partir de los 30 minutos (Fig. 1b). La actividad de lipasas fue mayor a pH 8. A pH 11 no presentaron



actividad enzimática. Las enzimas fueron estables en todos los pHs evaluados (7, 8, 9, 10) hasta los 120 minutos (Fig. 1c). Su temperatura óptima fue 25°C, mientras que fueron estables en todas las temperaturas excepto a 55°C, donde la actividad decreció significativamente a partir de los 30 minutos (Fig. 1d).

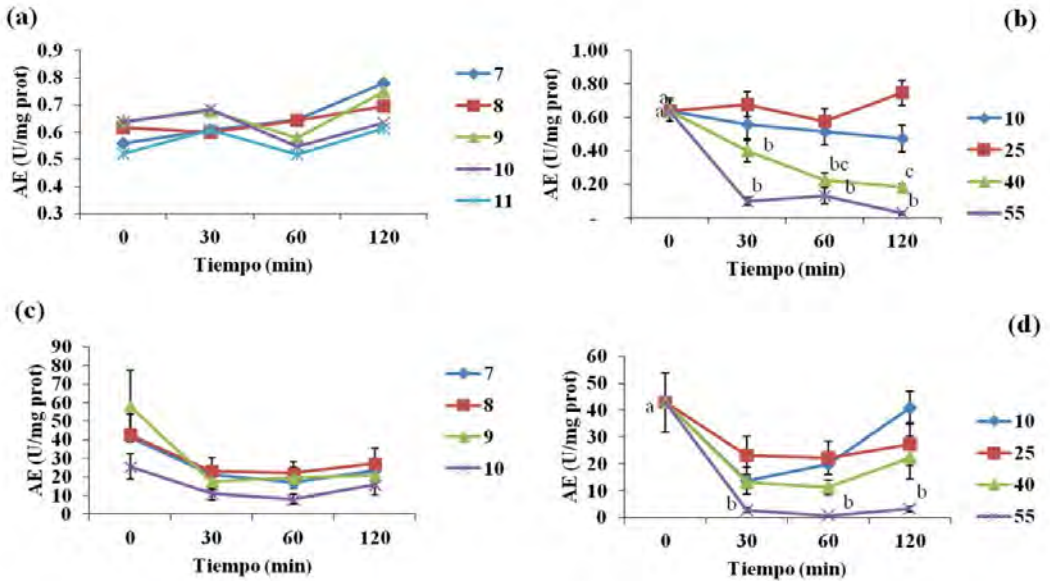


Figura 1. Efecto del pH y la temperatura sobre la estabilidad de las proteinasas alcalinas y lipasas de intestino de *Acipenser gueldenstaedtii*. Los valores indican medias y error estándar. Efecto del pH (7-11; a) y de la temperatura (10-55°C; b) sobre la actividad específica de proteinasas alcalinas (AE; U/mg de proteína). Efecto del pH (7-11; c) y de la temperatura (10-55°C; d) sobre la actividad específica de lipasas (AE; U/mg de proteína). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tiempos ( $P < 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

En este trabajo se ha demostrado que los residuos de intestino de esturión pueden ser revalorizados para obtener extractos enzimáticos con actividad enzimática. Además, los resultados de caracterización permitieron establecer las condiciones de temperaturas, pHs y tiempos de incubación que permitirán la utilización de estas enzimas en distintos procesos biotecnológicos. Se ha evidenciado previamente actividad de proteinasas y lipasas en el intestino de otras especies de esturión (Chen *et al.*, 2021; Furne *et al.*, 2005; Kamaszewski *et al.*,

2014; Sanz et al., 2011; Wiszniewski et al., 2022; Xu et al., 2012). Particularmente, Furne et al., (2005) observaron una mayor actividad específica de proteinasas alcalinas y básicas respecto a las ácidas en el tracto digestivo de esturión.

En nuestra investigación, las proteinasas presentaron mayor actividad enzimática a pHs alcalinos, entre 9 y 10. Estos resultados se condicen con los obtenidos en el intestino de otros peces (Friedman y Fernandez-Gimenez, 2023) y en el esturión Adriático (Furne et al., 2005), donde las proteinasas digestivas tuvieron mayor actividad en un rango de pH de 8,5 a 10. Estas enzimas a su vez fueron estables en todos los pHs evaluados. Su actividad fue más alta a 25°C, a diferencia de lo que ocurre en otras especies de peces donde la temperatura óptima se evidencia entre los 35 y 65°C (Friedman y Fernandez-Gimenez, 2023). A su vez, presentaron estabilidad a dicha temperatura y a 10°C, pero a partir de los 40°C se reduce la estabilidad enzimática. Estos datos resultan interesantes como punto de partida para llevar a cabo diversas aplicaciones biotecnológicas en las que comúnmente se utilizan proteinasas que actúan a pH alcalino, tales como en procesos de la industria textil, de detergentes, papel y pulpa (Naveed et al., 2021)

Por otro lado, los peces carnívoros usualmente consumen alimentos ricos en grasas, explicando la importante actividad de lipasas en esta especie (Furne et al., 2005). Al igual que las proteinasas, las lipasas presentaron mayor actividad a pHs alcalinos, particularmente a pH 8 y fueron estables en todos los pHs evaluados. Su temperatura óptima también fue a 25°C y mantuvieron su estabilidad hasta los 55°C. Estas enzimas también pueden ser utilizadas con diversos fines biotecnológicos, tales como la elaboración de biodiesel, procesamiento de alimentos, tratamiento de aguas residuales, entre otros (Sarmah et al., 2018).

Dadas las coincidencias entre las características óptimas de ambos tipos de enzimas, sería interesante utilizarlas en conjunto para un proceso biotecnológico manteniendo un pH alcalino (entre pH 8 y 9) y la temperatura a 25°C.

## CONCLUSIONES

Los residuos de esturión (vísceras) tienen un excelente potencial para ser revalorizados en la obtención de enzimas digestivas con importante actividad y

estables en distintas condiciones de pH, promoviendo, de esta manera, la puesta en valor de este residuo y la sostenibilidad de la acuicultura. Los resultados obtenidos en este trabajo representan un aporte al conocimiento sobre estas enzimas, lo cual permitiría su aplicación en diferentes campos biotecnológicos.

## Agradecimientos

Se agradece el financiamiento de los siguientes proyectos: PIP 1093/20 EXA 1075/22 y EXA 1066/22

## REFERENCIAS

- Adel, M., Omid, A. H., Dawood, M. A., Karimi, B., & Shekarabi, S. P. H. (2021). Dietary *Gracilaria persica* mediated the growth performance, fillet colouration, and immune response of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*). *Aquaculture*, 530: 735950.
- Babaei, S. S., Kenari, A. A., Nazari, R., Gisbert, E. (2011). Developmental changes of digestive enzymes in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) during larval ontogeny. *Aquaculture*, 318(1-2): 138-144.
- Babaei, S., Abedian-Kenari, A., Hedayati, M., & Yazdani-Sadati, M. A. (2017). Growth response, body composition, plasma metabolites, digestive and antioxidant enzymes activities of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) fed different dietary protein and carbohydrate: lipid ratio. *Aquaculture Research*, 48(6): 2642-2654.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Bronzi, P., Chebanov, M., Michaels, J. T., Wei, Q., Rosenthal, H., Gessner, J. (2019). Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(1): 257-266.

- Chen, W. Q., Zheng, C., Jin, Z., Ye, Z., Wu, J. W., Qian, S. C., ... Fei, H. (2021). Evaluation of *Yarrowia lipolytica* lipase 2 on growth performance, digestive enzyme activity and nutritional components of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(2): 396-409.
- Friedman, I. S., Behrens, L. A., Pereira, N. A., Contreras, E. M., Fernández-Gimenez, A. V. (2022). Digestive proteinases from the marine fish processing wastes of the South-West Atlantic Ocean: Their partial characterization and comparison. *Journal of Fish Biology*, 100(1): 150-160.
- Friedman, I. S., Fernández-Gimenez, A. V. (2023). State of knowledge about biotechnological uses of digestive enzymes of marine fishery resources: A worldwide systematic review. *Aquaculture and Fisheries*.
- Furne, M., Hidalgo, M. C., Lopez, A., Garcia-Gallego, M., Morales, A. E., Domezain, A., ... Sanz, A. (2005). Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study. *Aquaculture*, 250(1-2): 391-398.
- Furné, M., García-Gallego, M., Hidalgo, M. C., Morales, A. E., Domezain, A., Domezain, J., & Sanz, A. (2008). Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in sturgeon (*Acipenser naccarii*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 149(4): 420-425.
- García-Carreño, F. L. (1992). Protease inhibition in theory and practice. *Biotechnology Education*, 3(4): 145-150.
- Ghodrati, M., Islami, H. R., Shekarabi, S. P. H., Masouleh, A. S., & Mehrgan, M. S. (2021). Combined effects of enzymes and probiotics on hemato-biochemical parameters and immunological responses of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Fish & Shellfish Immunology*, 112: 116-124.
- Kamaszewski, M., Ostaszewska, T., Prusińska, M., Kolman, R., Chojnacki, M., Zabytyvskij, J., ... Kasprzak, R. (2014). Effects of *Artemia* sp. enrichment with essential fatty acids on functional and morphological aspects of the digestive

system in *Acipenser gueldenstaedtii* larvae. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 14(4): 929-938.

Meng, D., Wei, Q., Takagi, Y., Dai, Z., Zhang, Y. (2023). Structural Properties and Biological Activities of Collagens from Four Main Processing By-Products (Skin, Fin, Cartilage, Notochord) of Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). Waste and Biomass Valorization, 1-16.

Mohseni, M., Taati, R., Dadgar, S., & Alipour, A. (2020). Effect of different sources of carbohydrate on growth performance, body composition, digestibility, digestive and liver enzymes of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). ISFJ, 29(4): 173-185.

Naveed, M., Nadeem, F., Mehmood, T., Bilal, M., Anwar, Z., Amjad, F. (2021). Protease—a versatile and ecofriendly biocatalyst with multi-industrial applications: an updated review. Catalysis Letters, 151: 307-323.

Nevalenny, A. N., Bednyakov, D. A. (2017). Distribution of the enzyme activity in the intestine of beluga *Huso huso* and Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* (Acipenseridae). Journal of ichthyology, 57: 164-169.

Nolasco-Soria, H., Moyano-López, F., Vega-Villasante, F., del Monte-Martinez, A., Espinosa-Chaurand, D., Gisbert, E., & Nolasco-Alzaga, H. R. (2018). Lipase and phospholipase activity methods for marine organisms. Lipases and Phospholipases: Methods and Protocols, 139-167.

Sanz, A., Llorente, J. I., Furne, M., Ostos-Garrido, M. V., Carmona, R., Domezain, A., & Hidalgo, M. C. (2011). Digestive enzymes during ontogeny of the sturgeon *Acipenser naccarii*: intestine and pancreas development. Journal of Applied Ichthyology, 27(5): 1139-1146.

Sarmah, N., Revathi, D., Sheelu, G., Yamuna Rani, K., Sridhar, S., Mehtab, V., Sumana, C. (2018). Recent advances on sources and industrial applications of lipases. Biotechnology progress, 34(1); 5-28.

Wiszniewski, G., Jarmołowicz, S., Hassaan, M. S., Kamaszewski, M., Szudrowicz, H., Terech-Majewska, E., ... Siwicki, A. K. (2022). Dietary effect of actinidin enzyme on growth, digestive enzymes activity, immunity, liver and intestine histology of juvenile sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*). *Aquaculture Reports*, 25: 101196.

Xu, Q. Y., Wang, C. A., Zhao, Z. G., Luo, L. (2012). Effects of replacement of fish meal by soy protein isolate on the growth, digestive enzyme activity and serum biochemical parameters for juvenile Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(11): 1588.



# *hsp70* expression in Amur carp blood cells *Cyprinus rubrofasciatus* under anesthesia following painful stimulus

Expresión de *hsp70* en células sanguíneas de carpas de Amur *Cyprinus rubrofasciatus* bajo anestesia después de un estímulo doloroso

André Luiz Veiga Conrado<sup>1</sup>, Renata Stecca lunes<sup>1</sup>,  
Matheus Santos Costa<sup>1</sup>, Rogério Oliveira Faleiros<sup>2</sup>,  
Isabella Cristina Bordon<sup>1</sup>, José Roberto Machado Cunha da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Histofisiologia Evolutiva. Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil,

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas. Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, Brasil.

André Luiz Veiga Conrado   andreveigaconrado@gmail.com

## Keywords |

Amur carp,  
*hsp70*,  
fin pinching,  
anesthesia

**ABSTRACT** | Fifty-six Amur carps *Cyprinus rubrofasciatus* were anesthetized in benzocaine-based solutions at 70, 100 and 130 mg/L (B70, B100 and B130) or eugenol-based solutions at 20, 40 and 60 mg/L (E20, E40 and E60) with control group without anesthesia. After reaching deep anesthetic plane, caudal fin pinching was performed for 1 minute. Blood samples were collected for *hsp70* RT-qPCR analysis and stored at -80 °C. All anesthetized fish with benzocaine downregulated *hsp70* expression, also observed in E40 ( $p < 0.0003$ ), but *hsp70* upregulation was seen in blood cells of E20 ( $p = 0.04$ ) and E60 ( $p = 0.03$ ) Amur carps. In conclusion, molecular tools used for indirect monitoring provided information on the perception of pain in Amur carps.

## Palabras clave |

Carpas de Amur,  
*hsp70*,  
pellizco de la aleta,  
anestesia

**RESUMEN** | Las carpas de Amur *Cyprinus rubrofasciatus* fueron anestesiadas en soluciones a base de benzocaína a 70, 100 y 130 mg/L (B70, B100 y B130) o soluciones a base de eugenol a 20, 40 y 60 mg/L (E20, E40 y E60) con un grupo de control sin anestesia. Después de alcanzar el plano anestésico profundo, se realizó un pellizco de la aleta caudal durante 1 minuto. Se recogieron muestras de sangre para el análisis de *hsp70* usando RT-qPCR y se

almacenaron a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Todos los peces anestesiados con benzocaína regulaban a la baja la expresión de *hsp70*, también se observó en E40 ( $p < 0,0003$ ), pero se observó una regulación positiva de *hsp70* en las células sanguíneas de las carpas de Amur E20 ( $p = 0,04$ ) y E60 ( $p = 0,03$ ). En conclusión, las herramientas moleculares utilizadas para el seguimiento indirecto proporcionaron información sobre la percepción del dolor en las carpas de Amur.

## INTRODUCTION

Fish are exposed to universal stressors, such as deviations from the comfort zone of environmental parameters (ambient temperature, oxygen supply), insufficient food availability, inadequate refuge from predators or sunlight, and demands of social interactions such as territorial disputes (Harper and Wolf, 2009). In relation to stressors related to aquaculture practices, such as population density, manipulations and fishing, intensity and time are key components (Tort, 2011).

The response to stressful factors comprises the action of proteins called heat shock proteins (HSP), which are also known as molecular chaperones due to their reversible interaction, assisting in the folding and transmembrane transport of early synthesized proteins (Kiang and Tsokos, 1998). Currie and Tufts (1997) first suggested that HSP70 in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* is regulated primarily at the transcriptional level of the *hsp70* gene. Afterwards, Celi et al. (2012) reported that cortisol binding to glucocorticoid receptor in sea bass leukocytes lead to *hsp70* modulation in head kidney cells in vitro.

Most of the controversy surrounding the identification of stress, pain and/or anxiety/distress in fish is related to the lack of comprehensive clinical data for most species (Weber, 2011). Therefore, to guarantee the well-being of fish subjected to procedures that may inflict pain, anesthetic agents are needed in concentrations sufficient to block nociceptive pathways (Zahl et al., 2009). Thus, the objective of this research was to analyze the expression of *hsp70* in Amur carp *Cyprinus rubrofuscus* anesthetized in solutions with different concentrations of



benzocaine and eugenol followed by painful stimulus for indirect analysis of pain perception.

## MATERIAL AND METHODS

### Animal maintenance

This trial was approved by the Ethics Committee on the Use of Animals of the Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB/USP), São Paulo, Brazil # 5420020819.

Fifty-six juvenile female Amur carps *Cyprinus rubrofuscus* (Lacépède 1803) (27.20±9.63 g) were purchased from Piscicultura Dinamarca (São Paulo, Brazil) and kept in a 500L aquarium at the Aquatic Animals facility of the ICB/USP.

### Amur carps anesthesia and blood collection

For Amur carps anesthesia with benzocaine (Benzocaine, Sigma-Aldrich, United States), anesthetic solutions at concentrations of 70, 100 and 130 mg/L were prepared – groups B70, B100 and B130 (Mohamed, 1999; Antunes *et al.*, 2008). Anesthesia with eugenol (Eugenol, Biodinâmica, Brazil) was performed with anesthetic baths at 20, 40 and 60 mg/L – groups E20, E40 and E60 (Hikasa *et al.*, 1986). Before water addition, all anesthetics were dissolved 1:5 in 100% ethanol. A plastic box containing the anesthetic solution kept with constant aeration and a stainless steel grid lid (a rodent cage) was used in this trial. A second box with constant aeration was kept nearby to evaluate the carp's recovery after anesthesia. Amur carps of the control group were not anesthetized, but only handed to verify whether the consequences were due to stress or pain.

Each group of Amur carps (n=8) was anesthetized in the respective bath kept at 19-20°C. Once the deep anesthesia plane was reached, characterized by total loss of muscle tone, total loss of balance and almost no ventilation (Stage II and Plane 2 anesthetic plane, as reported by Ross and Ross, 2008), each carp were removed from the anesthetic solution and placed on the grated lid. For oxygenation of the gills and maintenance of anesthesia, a hose connected to a

submersible aquarium pump into the anesthetic solution was inserted orally, with a flow rate of 300 L/h. To pinch the caudal fin, a rat tooth forceps was set ventrocranially between the caudal fin and the anus, with an extension of 1 cm on the flanks and forming a 45 degree angle between the forceps and the caudal fin. The tweezers were pressed with maximum intensity for one minute.

Dorsal vessels were punctured using a 13 x 0.38 mm (27.5G x 1.2") needles coupled to 1 mL syringes for blood collection. Previously, needles and syringes were internally coated with a 3% EDTA dissolved in 0.65% NaCl saline solution to avoid blood clogging. A second syringe without anticoagulant was set for whole blood acquisition. Around 100 µL of blood were collected in each syringe per animal.

Finally, each carp was weighed and relocated to a recovery box with constant water oxygenation and the recovery time was measured. Post-painful stimulus analgesia was performed with the administration of 0.15 mL of IM lidocaine hydrochloride (Lidocaína 1%, Eurofarma, Brazil) at a concentration of 5 mg/mL (Chatigny et al., 2018).

## RNA extraction

RNA extraction was performed using blood collected in syringes and tubes coated with anticoagulant solution containing 3% EDTA dissolved in 0.65% NaCl solution and stored at -80 °C until RNA extraction.

Thus, blood samples were thawed in crushed ice and centrifuged for 5 min, 12,000 x g at 4 °C. After discarding the supernatant, 300 µL of trizol (Trizol Reagent, Thermo Fisher, USA) were added for 5 min. After protein lysis, 60 µL of chloroform were added and the samples were incubated for 3 min. For phase separation, the tubes were centrifuged again for 15 min, 12,000 x g at 4 °C and the supernatant was collected in a new tube with the addition of 150 µL of ice-cold isopropyl alcohol and incubated for 10 min. Following centrifugation for 10 min, 12,000 x g at 4 °C, the supernatant was discarded and 300 µL of 75% ethanol was added to homogenate the pellet. Final centrifugation for RNA acquisition was performed for 15 min, 7,500 x g at 4 °C. The supernatant was discarded and the pellet was dried at room temperature for 5-10 min, with RNA redissolved in 20-50

$\mu\text{L}$  of DEPC water. Finally, the RNA was stored at  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  for subsequent quantification of the extracted RNA.

RNA was quantified using a microplate spectrophotometer (EPOCH, Agilent, USA) and RNA concentration ( $\text{ng}/\mu\text{L}$ ) and extraction efficiency data (A260/A280 ratio) were acquired using the Gen5 software (Agilent, USA).

### cDNA synthesis

For cDNA synthesis, the High-Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Thermo Fisher Scientific, USA) was employed, according to the manufacturer's instructions. From the concentration of extracted RNA, the aliquot volume necessary to contain  $2\text{ }\mu\text{g}$  of RNA and, consequently, the amount of ultrapure water sufficient for a final volume of  $10\text{ }\mu\text{L}$  were calculated.

The cDNA aliquots were placed in the thermocycler (Veriti™ 96 well Thermal Cycler, Thermo Fisher, USA) using the following cycle:  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 10 min;  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 120 min;  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 5 min;  $4^{\circ}\text{C}$  until removing the tubes. The eppendorf tubes were stored at  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  for subsequent analysis of gene expression.

### *hsp70* and *rpl10a* RT-qPCR in blood cells

The primer for *hsp70* was based on the work of Khosravi-Katuli *et al.* (2018) and the primer for the endogenous *rpl10a* for ribosomal L10 protein (Wilson and Nierhaus, 2005) were designed from the gene sequences deposited in GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) (Table 1) using the Primer-BLAST program, available at the NCBI website (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/>). Using primer efficiency tests on cDNA pools, it was determined that the ideal concentration of primers for qPCR is  $400\text{ nM}$  for *hsp70* and  $600\text{ nM}$  for *rpl10a*, in addition to cDNA concentration of  $25\text{ ng}/\mu\text{L}$ .

For RT-qPCR, cDNA of four Amur carps from each group was used;  $3.2\text{ }\mu\text{L}$  of cDNA were added to each well of 96-well plates (MicroAmp® Fast 96-Well Reaction Plate, Applied Biosystems, Thermo Fisher, USA),  $2.4\text{ }\mu\text{L}$  of each of the forward and reverse primers (Integrated DNA Technologies, Coralville, USA) in  $8\text{ }\mu\text{L}$

of PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix (Applied Biosystems, ThermoFisher, USA). All reactions were run in triplicate and performed in a QuantStudio™ 3 qPCR System thermocycler (Applied Biosystems, Thermo Fisher, USA). The amplification conditions used were: 2 minutes at 50 °C, 10 minutes at 95 °C, followed by 50 cycles at 95 °C for 15 seconds to denature the cDNA strand and at 60 °C for 1 minute.

Table 1. Base sequences of the primers for *hsp70* and *rpl10a*, with their respective GenBank accessions

Genes	Primers	GenBank Access
<i>hsp70</i>	Fw 5' – CCC AGA GGC AAG CGA CTA AA – 3' Rv 5' – AGC CTC TGC CGT TGA AGA AA – 3'	JN544930.1
<i>rpl10a</i>	Fw 5' – TTC GAC GCA ACT TCC CTT CA – 3' Rv 5' – AGT TCT TCC TCG GTC ATC CT – 3'	XM_019084206.2

Gene amplification efficiency was calculated using the slope value, obtained from the amplification of serial decimal dilutions of the cDNA, with the dilution values being plotted as a function of the threshold cycle (Ct) values obtained in a standard curve.

In this way, the amplification efficiency for each gene was calculated using the following equation:

$$E = 10^{-(1/\text{slope})}$$

The values of fluorescence emitted during the amplification cycles were used for the relative quantification of *hsp70* and *rpl10a* amplification. The relative expression between two genes was calculated using the Pfaffl method (Pfaffl, 2001).

To calculate the relative expression using the Pfaffl method, the following equation was used:

$$\text{Relative Expression} = \frac{[(E_{hsp70})]^{-\Delta C_T hsp70}}{[(E_{rpl10a})]^{-\Delta C_T rpl10a}}$$

## Statistical analysis

For relative gene expression, the values calculated by the Pfaffl method were analyzed using normality tests (Kolmogorov-Smirnov and D'Agostino-Pearson) with subsequent parametric tests F-test and one-way ANOVA with Fisher's post-hoc test ( $p < 0.05$ ) with multiple comparisons as recommended by Yuan *et al.* (2006) and Tichopad *et al.* (2013).

## RESULTS

### RNA extraction of blood cells

RNA extraction from the samples resulted in RNA levels of purity of  $2.59 \pm 1.44$  with a concentration of  $10,968.94 \pm 13,959.43$  ng/ $\mu$ L. Purity is above the minimum limit indicated by the manufacturers when extraction is carried out with Trizol. Even with some samples that suffered gelation after the addition of Trizol or a small volume sample, the RNA concentration was satisfactory after its purification. The standard deviation above the average RNA concentration was due to some samples having a high concentration, increasing the dispersion of values around the average.

### RT-qPCR for hsp70 and rpl10a

Primer amplification efficiencies were 0.32 for *hsp70* and 0.54 for *rpl10a*. Results of the RT-qPCR analyzes are shown in Table 2 and Figure 1.

Statistical analyzes for the relative expression of *hsp70* demonstrated results with Gaussian distribution using the Kolmogorov-Smirnov test, which were analyzed using ANOVA with Fisher's post-hoc test ( $p = 0.0003$ ) and F-test (8.928;  $p < 0.0001$ ) (Table 2).

Table 2. Relative expression of *hsp70* in blood cells of Amur carp *C. rubrofasciatus* collected after caudal fin pinching.

Group	Mean $\pm$ std. deviation	Confidence interval	Median
Control	1.11 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup>	0.54 – 1.6	1.11
B70	0.35 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	0.09 – 0.61	0.21
B100	0.28 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	0.10 – 0.47	0.28
B130	0.98 $\pm$ 0.78 <sup>a</sup>	0.16 – 1.80	1.04
E20	3.92 $\pm$ 1.77 <sup>b</sup>	2.06 – 5.78	3.81
E40	0.09 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.03 – 0.16	0.09
E60	3.03 $\pm$ 3.27 <sup>b</sup>	0.30 – 5.77	2.17

OBS: in the columns, different letters indicate statistical difference between the groups evaluated by ANOVA with Fisher's post-test and  $p < 0.05$ .

With the analysis of the results calculated using the Pfaffl method, *hsp70* upregulation was observed in the blood cells of Amur carp belonged to the experimental groups E20 (ANOVA Control x E20;  $p = 0.04$ ) and E60 (ANOVA Control x E60;  $p = 0.03$ ) after anesthesia and painful stimulus (Figure 1), contrasting with downregulation in carps anesthetized in benzocaine-based solutions (B70, B100 and B130) and in carps anesthetized in a 40 mg/L eugenol-based solution (group E40).

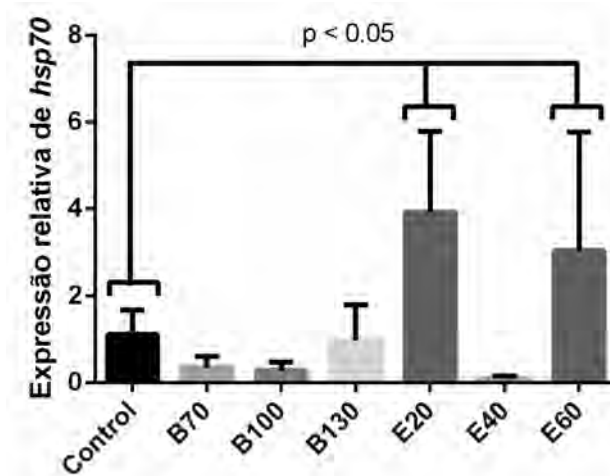


Figure 1. Relative expression of *hsp70* in blood cells of Amur carps *C. rubrofasciatus* after anesthesia followed by caudal fin pinching.

## DISCUSSION

The central nervous system pain perception triggers the immediate releasing of corticosteroid releasing hormone (CRH) by the preoptic nucleus of the hypothalamus. The CRH-stimulated receptor on pituitary corticotropic cells induces the secretion of adrenocorticotrop hormone (ACTH) into the bloodstream, which in turn stimulates the releasing of cortisol by cells of the interrenal tissue located around the posterior cardinal veins of the cranial kidney (Stolte *et al.*, 2008a; Tort, 2011) characterizing the hypothalamus – pituitary – interrenal tissue axis (Cockren, 2013). In a recent study, Uchimura *et al.* (2019) reported the first evidence that plasma cortisol levels in fish are related to hypothalamic *crhb* (corticotropin-releasing hormone paralog b) upregulation.

Cortisol binding to its receptors on fish immune cells (Stolte *et al.*, 2008ab) is a key factor for *hsp70* expression in blood cells (Stolte *et al.*, 2009). Le *et al.* (2019) observed that goldfishes *Carassius auratus* anesthetized with a 20 mg/L eugenol solution showed higher plasma cortisol levels when compared to the group anesthetized with MS-222 solution and percussive stunning, but the fish anesthetized with eugenol showed the lowest *hsp70* expression in blood cells. However, in our case, both higher and lower eugenol concentrations resulted in *hsp70* upregulation. Furthermore, Baldisserotto *et al.* (2017) do not recommend eugenol as an analgesic agent post-exposure of zebrafish *Danio rerio* to noxious stimuli. Indeed, Barbas *et al.* (2021) observed that, in tambaquis *Colossoma macropomum*, eugenol caused body immobilization, but fishes showed intense neuronal excitability, failing to promote depression of the central nervous system, thus not being suitable for use in general anesthesia. The same authors suggest that protocols using eugenol for short-term anesthesia and euthanasia must be reviewed. Therefore, the use of eugenol in the anesthesia of fish in surgical interventions using the concentrations recommended in the literature for carp (Mohamed, 1999; Antunes *et al.*, 2008) should be discouraged to avoid consequences for fishes.

In case of benzocaine use, it was observed that concentrations of 100 and 130 mg/L led to *hsp70* downregulation in relation to the unanesthetized control group. Furthermore, the analysis of *hsp70* expression in fish blood cells proved to be a

safe method for primary detection of the organism's defense against painful infliction, as proposed by Le et al. (2019).

## CONCLUSIONS

Benzocaine anesthesia followed by painful stimulation was efficient in reducing hsp70 expression in blood cells. However, the concentrations of eugenol for immersion anesthesia indicated in the literature do not block the consequences of the painful stimulus, making its use inadvisable.

In conclusion, molecular tools used for indirect monitoring provided information on the perception of pain in Amur carps.

## Acknowledgments

This research was funded by the National Council for Scientific and Technological Development - CNPq/MCTI, Brazilian Government, grant # 163896/2018-6.

## REFERENCES

- Antunes, M. I. P. P., Spurio, R. S., Godoi, D. A., Grumadas, C. E. S., da Rocha, M. A. (2008). Cloridrato de benzocaina na anestesia de carpas (*Cyprinus carpio*). Semina: Ciências Agrárias, 29(1): 151-156.
- Baldisserotto, B., Parodi, T. V., Stevens, E. D. (2018). Lack of postexposure analgesic efficacy of low concentrations of eugenol in zebrafish. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 45(1): 48-56.
- Barbas, L. A. L., Torres, M. F., da Costa, B. M. P., Feitosa, M. J. M., Maltez, L. C., Amado, L. L., Toda, Y. P. S., Batista, P. S., Cabral, D. A. C., Hamoy, M. (2021). Eugenol induces body immobilization yet evoking an increased neuronal excitability in fish during short-term baths. Aquatic Toxicology, 231: 105734.
- Celi, M., Vazzana, M., Sanfratello, M. A., Parrinello, N. (2012). Elevated cortisol



modulates Hsp70 and Hsp90 gene expression and protein in sea bass head kidney and isolated leukocytes. *General and Comparative Endocrinology*, 175(3): 424-431.

Chatigny, F., Creighton, C. M., Stevens, E. D. (2018). Intramuscular infiltration of a local anesthetic, lidocaine, does not result in adverse behavioural side effects in rainbow trout. *Scientific Reports*, 8(1): 10250.

Cockrem, J. F. (2013). Individual variation in glucocorticoid stress responses in animals. *General and Comparative Endocrinology*, 181: 45-58.

Currie, S., Tufts, B. L. (1997). Synthesis of stress protein 70 (Hsp70) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) red blood cells. *Journal of Experimental Biology*, 200(3): 607-614.

Harper, C., Wolf, J. C. (2009). Morphologic effects of the stress response in fish. *ILAR Journal*, 50(4): 387-396.

Hikasa, Y., Takase, K., Ogasawara, T., Ogasawara, S. (1986) Anesthesia and recovery with tricaine methanesulfonate, eugenol and thiopental sodium in the carp, *Cyprinus carpio*. *The Japanese Journal of Veterinary Science*, 48(2): 341-351.

Khosravi-Katuli, K., Shabani, A., Paknejad, H., Imanpoor, M. R. (2018). Comparative toxicity of silver nanoparticle and ionic silver in juvenile common carp (*Cyprinus carpio*): accumulation, physiology and histopathology. *Journal of Hazardous Materials*, 359: 373-381.

Kiang, J. G., Tsokos, G. C. (1998). Heat shock protein 70 kDa: molecular biology, biochemistry, and physiology. *Pharmacology & Therapeutics*, 80(2): 183-201.

Le, Q., Hu, J., Cao, X., Kuang, S., Zhang, M., Yu, N., Zheng, H., Wang, Y., Liu, H., Yan, X. (2019). Transcriptomic and cortisol analysis reveals differences in stress alleviation by different methods of anesthesia in Crucian carp (*Carassius auratus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 84: 1170-1179.

- Mohamed, S. J. (1999). Comparative efficacy of four anesthetics on common carp *Cyprinus carpio* L. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 29(2): 91-97.
- Pfaffl, M. W. (2001). A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Research*, 29(9): e45.
- Ross, L. G., Ross, B. (2008). *Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals*. Blackwell Publishing. Oxford, UK. 240pp.
- Stolte, E. H., de Mazon, A. F., Leon-Koosterziel, K. M., Jesiak, M., Bury, N., Sturm, A., Savelkoul, H. F. J., Verburg-van Kemenade, B. M. L., Flik, G. (2008a). Corticosteroid receptors involved in stress regulation in common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Endocrinology*, 198: 403-417.
- Stolte, E. H., Nabuurs, S. B., Bury, N. R., Sturm, A., Flik, G., Savelkoul, H. F., Verburg-van Kemenade, B. L. (2008b). Stress and innate immunity in carp: corticosteroid receptors and pro-inflammatory cytokines. *Molecular Immunology*, 46(1): 70-79.
- Stolte, E. H., Chadzinska, M., Przybylska, D., Flik, G., Savelkoul, H. F., Verburg-van Kemenade, B. L. (2009). The immune response differentially regulates Hsp70 and glucocorticoid receptor expression in vitro and in vivo in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 27(1): 9-16.
- Tichopad, A., Bar, T., Edling, M., Svanberg, B., Nolan, T., Bergkvist, A. (2013). Experiment design, data management, and univariate statistical analysis of gene-expression data obtained by Real-Time quantitative PCR. In: Nolan, T., Bustin, S. A. (eds.). *PCR Technologies: Current Innovations*. CRC Press. Boca Raton, USA, pp. 245-258.
- Tort, L. (2011). Stress and immune modulation in fish. *Developmental & Comparative Immunology*, 35(12): 1366-1375.
- Uchimura, T., Hara, S., Yazawa, T., Kamei, Y., Kitano, T. (2019). Involvement of heat shock proteins on the transcriptional regulation of corticotropin-releasing hormone in medaka. *Frontiers in Endocrinology*, 10: 520-529.

- Weber, E. S. (2011). Fish analgesia: pain, stress, fear aversion, or nociception?. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 14(1): 21-32.
- Wilson, D. N., Nierhaus, K. H. (2005). Ribosomal proteins in the spotlight. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 40(5): 243-267.
- Yuan, J. S., Reed, A., Chen, F., Stewart, C. N. (2006). Statistical analysis of real-time PCR data. *BMC Bioinformatics*, 7: 1-12.
- Zahl, I. H., Kiessling, A., Samuelsen, O. B., Hansen, M. K. (2009). Anaesthesia of Atlantic cod (*Gadus morhua*)—effect of pre-anaesthetic sedation, and importance of body weight, temperature and stress. *Aquaculture*, 295(1-2): 52-59.



# Capturas mitocondriales en los cánceres transmisibles del berberecho *Cerastoderma edule* (Bivalvia)

Mitochondrial capture by transmissible cancers of cockles *Cerastoderma edule* (Bivalvia)

Alicia L. Bruzos<sup>1,2,3,4</sup>, Seila Díaz<sup>1,5</sup>, Sara Rocha<sup>6</sup>, Jorge Zamora<sup>1</sup>, Jorge Rodríguez-Castro<sup>1,3</sup>, David Posada<sup>6,7</sup>, José M.C. Tubio<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Genomes and Disease, Centro Singular de Investigación en Medicina Molecular y Enfermedades Crónicas (CIMUS), Universidade de Santiago de Compostela, España.

<sup>2</sup>Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física, Universidade de Santiago de Compostela, España.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Sanitarias de Santiago de Compostela (IDIS), España.

<sup>4</sup>Laboratoire de Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques (BOREA), Université de Caen-Normandie, Francia.

<sup>5</sup>ECOMARE, Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM) & Department of Biology, University of Aveiro, Portugal.

<sup>6</sup>Centro de Investigación en Biomedicina (CINBIO), Universidade de Vigo, España.

<sup>7</sup>Departamento de Bioquímica, Genética e Inmunología, Universidade de Vigo, España.

Alicia L. Bruzos   [albruzos@gmail.com](mailto:albruzos@gmail.com)

Palabras clave |  
cáncer contagioso  
marino,  
neoplasia transmisible  
de bivalvos,  
berberecho común,  
capturas mitocondriales,  
transferencia horizontal

RESUMEN | Los cánceres transmisibles o contagiosos, particularmente frecuentes en los bivalvos, son metástasis a gran escala en las que las células cancerosas se propagan a otros individuos más allá del organismo que las originó. En berberechos *Cerastoderma edule* de una localidad española se han descrito dos linajes de cáncer contagioso mediante ADN nuclear y mitocondrial que son fenotípicamente diferentes. En esta investigación, se analizaron 259 mitogenomas de berberechos tumorales y sanos y se caracterizaron nueve transferencias horizontales mitocondriales. Este estudio avanza en la comprensión de los cánceres transmisibles de bivalvos proporcionando un marco evolutivo sólido para la captura mitocondrial como mecanismo recurrente para evitar la extinción del linaje de cáncer contagioso.

Keywords |  
marine contagious  
cancer,  
bivalve transmisible  
neoplasia,  
common cockles,  
mitochondrial captures,  
horizontal transfer

ABSTRACT | Transmissible or contagious cancers, particularly common in bivalves, are large-scale metastases in which cancer cells spread to other individuals beyond the organism that originated them. In *Cerastoderma edule* cockles from a Spanish locality, two lineages of contagious cancer have been described using nuclear and mitochondrial DNA that are phenotypically different. In this research, 259 mitogenomes of tumorous and healthy cockles were analyzed and nine mitochondrial horizontal transfers were characterized. This study advances the understanding of transmissible bivalve cancers by providing a robust evolutionary framework for mitochondrial capture as a recurrent mechanism to prevent extinction of the contagious cancer lineage.

## INTRODUCCIÓN

Las neoplasias transmisibles de bivalvos (BTN por sus siglas en inglés) son cánceres similares a la leucemia que ocurren naturalmente y se transmiten entre individuos bivalvos (mejillones, berberechos, almejas). Se comportan como linajes de células clonales que se propagan dentro de las poblaciones mediante la transferencia de células cancerosas vivas (Figura 1A), muy probablemente utilizando las corrientes oceánicas (Metzger and Goff, 2016). La existencia de cánceres contagiosos que afectan a bivalvos se ha confirmado en diez especies

diferentes (Figura 1B; Metzger et al., 2015, 2016; Yonemitsu et al., 2019, 2023; Skazina et al., 2021, 2022; Garcia-Souto et al., 2022; Hammel et al., 2022; Michnowska et al., 2022; Yonemitsu et al., 2023), en este estudio nos hemos centrado en la BTN que afecta al berberecho común.

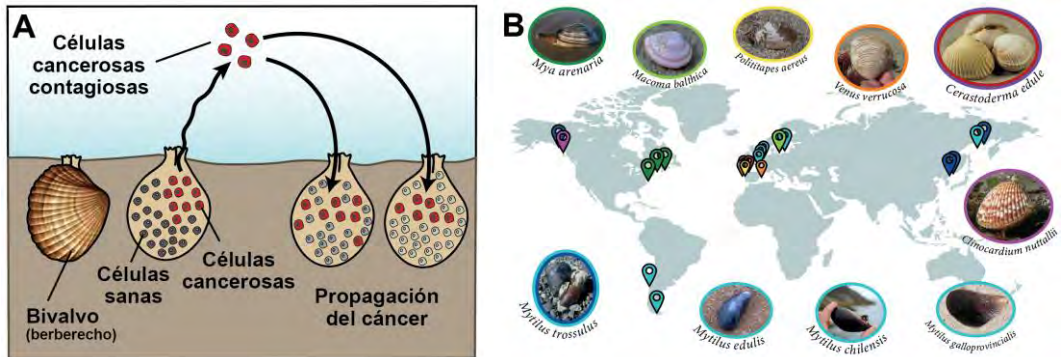


Figura 1. Cáncer contagioso en bivalvos. (A) Esquema de la transmisión de la neoplasia diseminada de un berberecho a otro. (B) Especies de bivalvos con cáncer contagioso reportado y su localización mundial.

El berberecho común *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1785) es un molusco bivalvo con una amplia distribución geográfica a lo largo de la costa atlántica nororiental desde la región occidental del mar de Barents hasta la Península Ibérica, y al sur a lo largo de la costa de África a Senegal (Tebble, 1976; Maia, Barroso and Gaspar, 2021). El berberecho común (en adelante, "berberecho") es una de las principales especies de bivalvos no cultivados que se capturan en aguas de Europa occidental (Carss et al., 2020). Los berberechos son una de las especies de moluscos más abundantes en las bahías y estuarios europeos, donde se han registrado densidades de población de 10.000 individuos por m<sup>2</sup> (Tyler-Walters, 2007). Los berberechos viven hasta 10 años en algunos hábitats, pero más comúnmente entre 2 y 6 años (Carss et al., 2020).

La diversidad genética es crucial para la adaptación de las poblaciones naturales a los cambios ambientales, en berberechos se han encontrado diferencias significativas entre regiones con altos niveles de heterocigosidad y flujo genético en regiones particulares (Hummel, Wolowicz and Bogaards, 1994; Martínez et al., 2013). La secuenciación del ADN mitocondrial de berberechos

dentro de su rango de distribución mostró dos grupos diferenciados en las zonas norte y sur (Krakau *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2015). Los marcadores de ADN nuclear de microsatélites subdividieron estos grupos en: (i) una región sur (poblaciones de berberechos de Marruecos, Portugal, España y Francia hasta el Canal de la Mancha); (ii) una región intermedia que incluye poblaciones de berberechos de Irlanda, Gran Bretaña y el sur del Mar del Norte (Países Bajos y Alemania); y (iii) un grupo del norte (Escocia, Dinamarca, Noruega y Rusia) (Martínez *et al.*, 2015; Vera *et al.*, 2021).

La neoplasia hémica (HN por sus siglas en inglés), también conocida como neoplasia diseminada, se manifiesta con la aparición de células tumorales en la hemolinfa (es decir, el sistema circulatorio de estos animales) e infiltrándose en todos los tejidos del animal en las últimas etapas de la enfermedad (Carballal *et al.*, 2015). Los primeros informes conocidos de HN se realizaron a finales de la década de 1960 y posteriormente se ha reportado en varias especies de bivalvos (Carballal *et al.*, 2015). En 2015, se demostró la naturaleza transmisible de la HN que afecta a las almejas *Mya arenaria* mediante el estudio de su ADN (Metzger *et al.*, 2015). En los años siguientes se corroboró que varias HN de otras especies eran también contagiosas (Figura 1B; Metzger *et al.*, 2015, 2016; Yonemitsu *et al.*, 2019, 2023; Skazina *et al.*, 2021, 2022; Garcia-Souto *et al.*, 2022; Hammel *et al.*, 2021; Michnowska *et al.*, 2022). En berberechos, la HN fue reportada en los años 80 en Francia (Poder and Auffret, 1986) e Irlanda (Twomey and Mulcahy, 1984) y posteriormente se reportaron más poblaciones en países del sur de Europa (Carballal *et al.*, 2001, 2015; Villalba, Carballal and López, 2001; Da Silva *et al.*, 2005; Díaz, 2005; Romalde *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2013; Montaudouin *et al.*, 2021). Las células cancerosas se caracterizan morfológicamente por ser más grandes y redondas que los hemocitos, alta relación núcleo/citoplasma, observación frecuente de figuras mitóticas, ausencia de pseudópodos, núcleos pleomórficos y un gran nucléolo (Díaz, 2015).

La naturaleza transmisible o contagiosa de la HN del berberecho se demostró mediante un análisis genético de ADN mitocondrial y nuclear. Los análisis de microsatélites (Figura 2A-B) y ADN mitocondrial (Figura 2B) en hemocitos neoplásicos aislados de seis berberechos enfermos revelaron la existencia de al menos dos clones de cáncer no relacionados (Ced-a-BTN1 y Ced-b-BNT2) en berberechos HN (Metzger *et al.*, 2016). Estos dos linajes de cáncer identificados

genéticamente en berberechos se corresponden con los subtipos de HN descritos previamente con microscopía óptica.

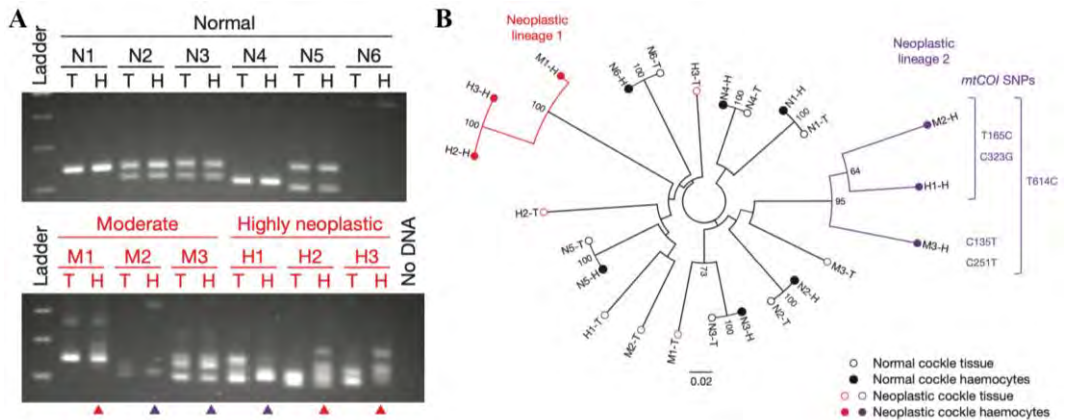


Figura 2. Análisis de cánceres transmisibles de berberecho (adaptado de Metzger et al., 2016). (A) Loci microsatélites amplificados en tejido -T- y hemolinfa -H- de berberechos normales y enfermos (moderados y altamente neoplásicos). (B) Árbol filogenético basado en nueve loci de microsatélites que muestran un origen polifilético de la neoplasia hémica del berberecho nados (Ced-a-BTN1 y Ced-b-BNT2).

En este trabajo, se analizaron los genomas mitocondriales de cánceres transmisibles de berberecho para profundizar en el estudio de su historia evolutiva.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras

Se recolectaron muestras (n=6,719) de lechos naturales en 12 países a lo largo del rango de distribución de *Cerastoderma edule* (FAO, 2019) desde el norte del Mar de Barents y hasta la costa sur de Marruecos. Todas las muestras llegaron vivas al laboratorio y se mantuvieron en un tanque con circuito cerrado de agua corriente de mar durante 48 horas antes del diagnóstico y procedimientos adicionales; los animales de diferentes lugares de muestreo nunca se mezclaron en el mismo tanque y los tanques se limpiaron con lejía entre diferentes llegadas de muestras.

### Diagnóstico por citología



La HN se diagnosticó inicialmente mediante el examen de monocapas de células de hemolinfa. Se extrajo hemolinfa del músculo aductor de cada muestra de bivalvo utilizando una aguja de calibre 23G unida a una jeringa de 5 mL. Se mezclaron 50  $\mu$ L de hemolinfa con 150  $\mu$ L de solución antiagregado de Alsever modificada en frío (Bachère, Chagot and Grizel, 1988) y se citocentrifugaron en portaobjetos (130 g, 7 min, 4 °C). Las monocapas de células de hemolinfa se fijaron y tiñeron con el kit Hemacolor (Merck) y se examinaron en un microscopio de luz LED Leica CTR6 para el diagnóstico de HN y el recuento de células.

Los berberechos se clasificaron según una escala de gravedad de la enfermedad contando manualmente 500 células: no afectadas (N0), cuando no se observó ni una sola célula cancerosa bajo el microscopio; cáncer en etapa temprana (N1), cuando los individuos mostraron una proporción de células cancerosas inferior al 15% en las monocapas de células de hemolinfa; cáncer en estadio medio (N2), cuando la proporción osciló entre el 15% y el 75%; y etapa severa (N3), cuando la proporción era superior al 75% (Díaz et al., 2010).

### Diagnóstico por histología

El diagnóstico previo se verificó mediante cortes histológicos y muestras con diagnóstico citológico poco claro o nulo confirmado o descartado. Además, las muestras de HN se clasificaron en tipo A o B según sus características morfológicas.

Para cada muestra, se diseccionó una sección de 5 mm que contenía casi todos los órganos (masa visceral, branquias, manto y pie), se fijó en solución de Davison (10% glicerina, 20% formaldehído 36–40%, 30% etanol, 30% agua de mar filtrada, 10% ácido acético) y se incluyeron en parafina. Luego, se microdiseccionaron secciones de 5  $\mu$ m de espesor, se tiñeron con la tinción de hematoxilina y eosina y se examinaron utilizando un microscopio óptico para análisis histopatológico.

Los tipos de neoplasia se diferenciaron por el tamaño y la interacción celular donde (i) el tipo A era más grande y muy disperso y (ii) el tipo B más pequeño, agrupado y más comprimido (Carballal et al., 2001).

### Aislamiento de ADN y secuenciación

El ADN se aisló utilizando el QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen) y se incluyó un paso de precipitación adicional con 600 µL de SDS/CH<sub>3</sub>COOH al 20 % (70 °C, 10 minutos) para la precipitación de histonas y otras proteínas de unión al ADN justo después de la digestión con ARNasa. Junto con la proteinasa K, se utilizaron 20 µL de agente reductor de β-mercaptoetanol.

La pureza del ADN se evaluó con Nanodrop One (Thermo Fisher Scientific), el rendimiento del ADN se midió en un fluorómetro Qubit (Thermo Fisher Scientific) y la integridad del ADN se evaluó en un sistema 4200 TapeStation (Agilent).

Se prepararon y secuenciaron librerías de secuenciación de genoma completo con lecturas de pareadas de 100 pb utilizando la plataforma Illumina NovaSeq6000 (Macrogen, Seúl, Corea del Sur). Se secuenciaron 51 tumores, 40 tejidos normales y 168 berberechos sanos. La mayoría de los tejidos normales secuenciados fueron muestras de pie (55 %); aunque en algunos casos fueron el músculo aductor (25%) o el manto (20%), la selección de tejidos normales se basó en la inspección histológica de infiltración de células cancerosas en tejidos.

## Análisis bioinformático

### Alineamiento e inspección visual

Los datos de secuenciación se alinearon con el genoma de referencia de berberecho común utilizando BWA-mem 0.7.17-r1188 (Li, 2013) y se usó samtools v.1.9 (Li et al., 2009) para ordenar e indexar los archivos. Las lecturas duplicadas se marcaron utilizando el paquete biobambam/bammarkduplicates (Tischler and Leonard, 2014). Mediante inspección visual utilizando el Integrative Genomics Viewer (Robinson et al., 2011), se comprobaron todos los tumores y berberechos sanos.

### Identificación de variantes

La identificación de variantes puntuales se realizó en los genomas mitocondriales individualmente usando GATK Mutect2 v4.1.6.0 (Poplin et al., 2018; Van der Auwera and O'Connor, 2020) configurando el indicador "modo

mitocondria", que establece automáticamente los parámetros para la variante. llamando a los mitogenomas. Se asumió una cobertura autosómica mediana de 50, estimada con Samtools 1.9 (Li *et al.*, 2009), para filtrar posibles NUMT polimórficos (copias de ADN mitocondrial integradas en el ADN nuclear).

Se construyeron gráficos de frecuencias alélicas para cada muestra y se examinaron visualmente. En general, la identificación de diferentes haplotipos de ADN mitocondrial fue sencilla evaluando las diferencias en frecuencias (tumoral, normal y sus variantes compartidas).

### Deconvolución clonal

Algoritmos de deconvolución clonal se aplican comúnmente a datos de cáncer para identificar y separar diferentes linajes clonales. Clomial (Zare *et al.*, 2014), LICHeE (Popic *et al.*, 2015) y CloneFinder (Miura *et al.*, 2018) se probaron en nuestro conjunto de datos para separar los genomas del cáncer y del huésped en las muestras, pero sin resultados satisfactorios.

Por lo tanto, la deconvolución clonal para separar los genomas del cáncer y del huésped entre muestras se realizó "manualmente" inspeccionando directamente los rangos de frecuencias alélicas de las variantes mitocondriales. Se utilizó la proporción de células tumorales en cada muestra (es decir, el recuento de células descrito anteriormente) para separar y etiquetar los haplotipos del tumor y el huésped. En los casos en los que no se pudieron atribuir con seguridad las identificaciones de los genomas del "huésped" y del "tumor" (en su mayoría muestras no apareadas sin correspondencia entre el recuento de células tumorales y las frecuencias del genoma), estas muestras se descartaron.

### Inferencia filogenética

La alineación de los genomas de ADN mitocondrial se inspeccionó visualmente utilizando GeneiousPrime v.11.03 ([www.geneious.com](http://www.geneious.com)) para verificar la exactitud de los marcos de lectura en los genes codificantes y las estadísticas de alineación.

Se utilizó ModelTest-NG (Darriba *et al.*, 2020) para seleccionar el modelo de sustitución de nucleótidos que mejor se ajusta al conjunto de datos. Se estimaron

modelos para cada gen/región por separado (30 regiones; se fusionaron algunos ARNt/regiones intergénicas superpuestas y/o contiguas), así como un modelo único para el conjunto de datos completo y modelos para un conjunto de datos de tres particiones (regiones codificantes, rRNAs y tRNAs), y elegidos según criterios de información bayesianos.

Las relaciones filogenéticas se infirieron mediante máxima verosimilitud (ML) e inferencia bayesiana (BI). Para ML, utilizamos RAxML-NG v0.8.1 (Kozlov et al., 2019) con 10 árboles iniciales de parsimonia y 1000 réplicas de arranque. Los análisis de BI se realizaron con MrBayes v3.2.7 (Huelsenbeck and Ronquist, 2001), implementando diferentes modelos para las 30 particiones establecidas a priori. Se vincularon las longitudes de las ramas y se ejecutaron cuatro cadenas de Markov simultáneas durante 15 millones de generaciones, tomando muestras cada 1500. Para la congruencia de ejecuciones y la convergencia de parámetros se utilizó RWTY (Warren et al., 2017), se construyó un árbol de consenso de regla de mayoría del 50 % y se descartó el 10 % de la ejecución como burn-in. Todos los árboles se infirieron sin un grupo externo y tienen raíces en el punto medio para la presentación.

### Pruebas estadísticas de topología de árbol

Se utilizaron múltiples pruebas para comparar hipótesis alternativas con la filogenia sin restricciones obtenida y, por lo tanto, descartar un origen común de los linajes de cáncer descritos en este trabajo. El soporte para topologías alternativas se evaluó utilizando Shimodaira-Hasegawa (SH) y las "approximately unbiased" (AU) implementadas en *iqtree2* (Minh et al., 2020), así como a través de probabilidades posteriores (bayesianas) como en Bergsten et al. (2013). La probabilidad posterior para cada hipótesis se calculó filtrando la muestra del árbol posterior (post-quemado) en PAUP\* v4.0a168 (Swofford, 2002).

### Estimación del tiempo de divergencia

Para inferir las edades de origen de los linajes tumorales, estimamos un árbol de tiempo utilizando BEAST2 v2.6.2 (Bouckaert et al., 2019). Las estimaciones se realizaron utilizando un árbol fijo y coestimando el árbol. Utilizamos el modelo de reloj relajado no correlacionado (Drummond et al., 2006) con una distribución

previa normal en la tasa de sustitución con media de 0,01 y desviación estándar de 0,003 sustituciones por millón de año y valores mínimo/máximo de 0-0,5. Esto se estimó como una tasa general promedio para los invertebrados (Allio *et al.*, 2017). Las ejecuciones se implementaron con una o tres particiones (regiones codificantes, ARNr y ARNt), y no más, para reducir el sesgo en las edades de los nodos causado por una mayor partición (Jin and Brown, 2018), con modelos de reloj vinculados y topología de árbol, y ambos. Priors coalescentes y de Yule utilizados en la topología del árbol. Se ejecutaron varias cadenas MCMC independientes durante 200 millones de generaciones, tomando muestras cada 20.000. La convergencia se verificó utilizando Tracer v.17.1 (Rambaut *et al.*, 2018) y se utilizó TreeAnnotator para calcular un árbol de consenso (MCC) y resumir las estimaciones posteriores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Múltiples linajes independientes de transferencia horizontal

Para explorar la historia evolutiva de CedBTN a nivel mitocondrial, identificamos variantes puntuales en los datos de secuenciación que revelaron un único haplotipo en todos los berberechos sanos. Sin embargo, en los berberechos neoplásicos, se identificaron al menos dos haplotipos con diferentes frecuencias alélicas, correspondientes a los genomas mitocondriales del berberecho huésped y del tumor (Figura 3).

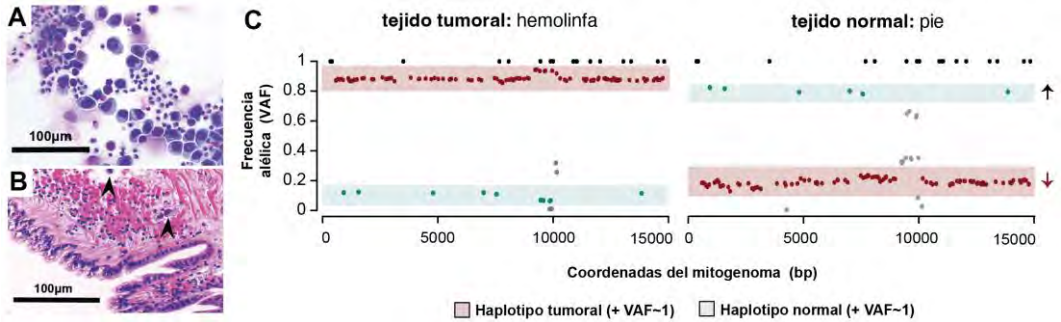


Figura 3. Comparativa del tejido tumoral y normal de un berberecho neoplásico.

(A) Preparación hemocitológica de la hemolinfa; el recuento celular realizado en esta muestra mostró un 89% de células cancerosas. (B) Corte histológico del pie que muestra una baja infiltración de células cancerosas (puntas de flecha). (C) Frecuencia alélica de las variantes en el genoma mitocondrial del tejido tumoral (izquierda) y tejido normal (derecha). El haplotipo de las células tumorales está resaltado en rojo, mientras que el haplotipo de las células huésped está resaltado en azul; las variantes fijas, es decir, las variantes a frecuencia uno presentes en ambos haplotipos, están coloreadas en negro y las variantes grises fueron excluidas de la interpretación por estar en una región de variantes estructurales. Las flechas representan el movimiento de los haplotipos desde el tejido tumoral (hemolinfa) al tejido normal (pie), presentando la disminución del haplotipo tumoral en el tejido normal.

Combinando la pureza del tumor y las frecuencias alélicas para desconvolucionar los haplotipos de ADN mitocondrial dentro de cada muestra, se identificaron nueve haplotipos de tumores distintos (seis en muestras Ced-a-BTN1, y tres en Ced-b-BNT2), cada uno de los cuales se distingue por un conjunto específico de variantes puntuales. Esto se confirmó mediante reconstrucción filogenética mediante métodos de máxima verosimilitud y bayesianos (Figura 4). Si bien se han encontrado nueve linajes de cáncer al analizar las mitocondrias, no se observaron indicios de esos linajes al observar su fenotipo o al analizar datos de microsatélites ni variantes nucleares. Estos resultados no pueden explicarse simplemente por una alta tasa de mutación en las mitocondrias de muestras de HN y sugieren que los linajes de HN adquieren periódicamente las mitocondrias de sus huéspedes, como ya se ha demostrado que sucede en el cáncer transmisible de perros. Los cánceres generalmente se caracterizan por una alta tasa metabólica (y por lo tanto una tasa de mutación) y, en el caso de los cánceres transmisibles que tienen una vida útil más larga, las mitocondrias acumulan

mutaciones nocivas que permiten la selección celular de células cancerosas que capturan las mitocondrias de su huésped (Rebbeck, Leroi and Burt, 2011).

La independencia de los nueve linajes de ADN mitocondrial utilizando se evaluó con tres métodos estadísticos de topología en las filogenias, que respaldaron consistentemente orígenes independientes para todos los linajes excepto uno de ellos ( $P = 0$  para SH,  $P < 5 \times 10^{-5}$  para AU, probabilidades posteriores = 0).

Tabla 1. Estimaciones temporales del origen de los linajes de cáncer mitocondrial.

Linaje	Edad estimada MRCA (MY) Mean [HPD*]
#1	0.269 [0.115 - 0.533]
#2	0.261 [0.101 - 0.531]
#3	0.1 [0.033 - 0.183]
#4	0.072 [0.024 - 0.133]
#5	0.062 [0.021 - 0.092]
#6	0.054 [0.013 - 0.079]
#7	0.051 [0.011 - 0.078]
#8	0.037 [0.005 - 0.049]
#9	0.033 [0.004 - 0.039]

\*Highest Posterior Density

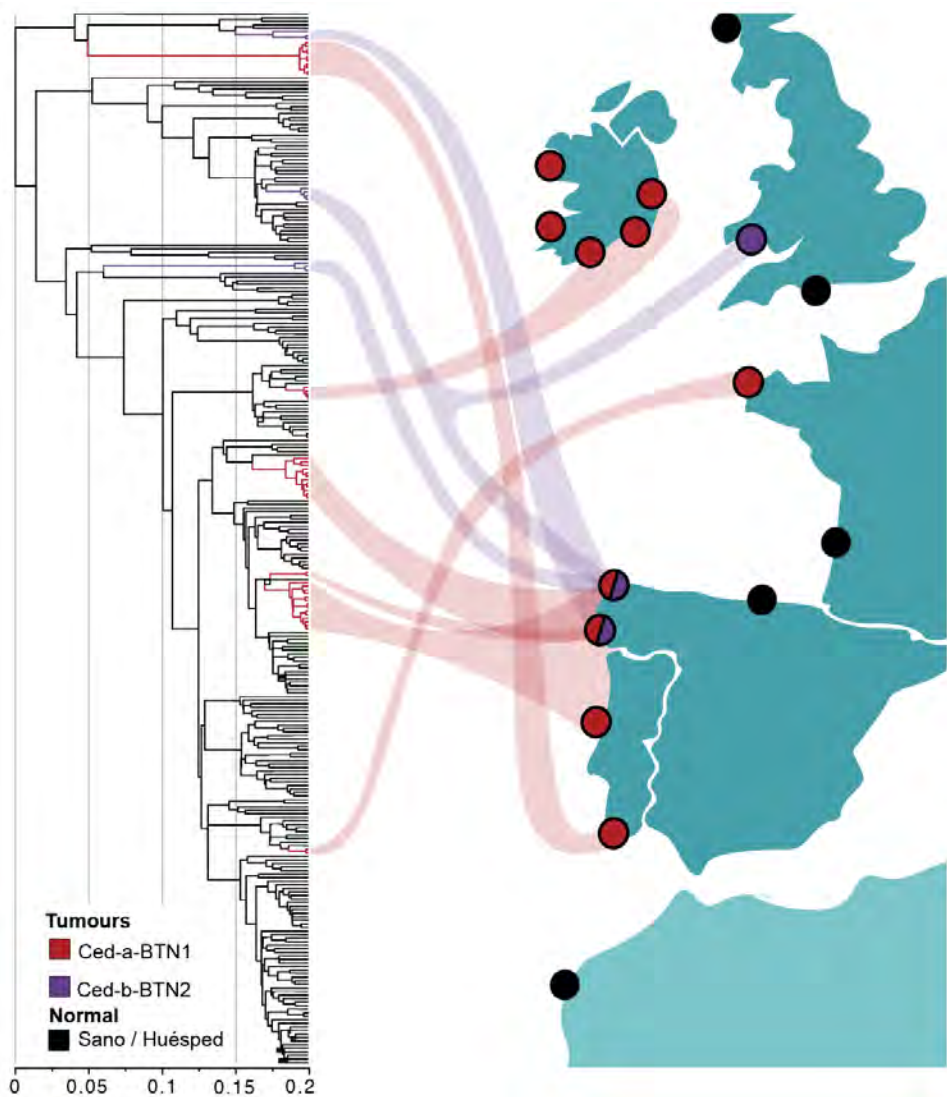


Figura 4. Filogenia bayesiana de los cánceres transmisibles de berberecho basada en mitogenomas. Las ramas de los tumores están coloreados en rojo/violeta mostrando nueve linajes diferentes, mientras que las muestras normales están coloreadas en negro. No se incluyó ningún grupo externo; por lo tanto, se muestra un árbol sin raíz. A la derecha se muestra la distribución geográfica de las muestras tumorales de cada linaje.



## Capturas mitocondriales antiguas

Las estimaciones de tiempo se realizaron con una tasa de sustitución estándar (0,01 sustituciones por millón de año) de genomas mitocondriales de invertebrados (Allio *et al.*, 2017) y utilizando un árbol con raíces de punto medio como árbol fijo y modelo de reloj relajado no correlacionado (Drummond *et al.*, 2006). Utilizar una o tres particiones no supuso ninguna diferencia significativa en las edades estimadas. Sin embargo, "Yule tree prior" estimaba edades siempre más jóvenes, pero mostramos las edades fusionadas porque este modelo se ajusta mejor a este tipo de datos intraespecíficos. Como consecuencia de ser un locus, la precisión de las estimaciones de tiempo es baja, pero pueden darnos una idea de las edades relativas de los linajes de cáncer mitocondrial (Tabla 1). En todos los casos, los rangos amplios pero antiguos y anteriores a los primeros reportes de HN en berberechos en los años 1980 (Poder and Auffret, 1986; Twomey and Mulcahy, 1984).

### Capturas mitocondriales en diferentes puntos de la costa atlántica europea

Los análisis de la distribución geográfica de los haplotipos de ADN mitocondrial de tumores y sus taxones hermanos (definidos como muestras no tumorales derivadas del mismo nodo en la filogenia) proporcionaron información sobre la propagación de CedBTN.

Los rangos geográficos de los tumores y sus taxones hermanos cabría esperar que se superpongan, o al menos sean próximos, pero se observaron cuatro linajes (Figura 5A-D) que ocupaban regiones distantes de los rangos de sus taxones hermanos. Destacar que la mayoría de las muestras de tumores del mismo linaje de ADN mitocondrial se encontraron normalmente en la misma región geográfica (Figura 5E-I).

Los taxones hermanos de los tres linajes mitocondrial de Ced-b-BNT2 (Figura 5A, 5C-D) se encontraron casi invariablemente en las regiones del norte (Dinamarca, Alemania, Noruega y Países Bajos), a pesar de que no se observaron tumores Ced-b-BNT2 en este rango.

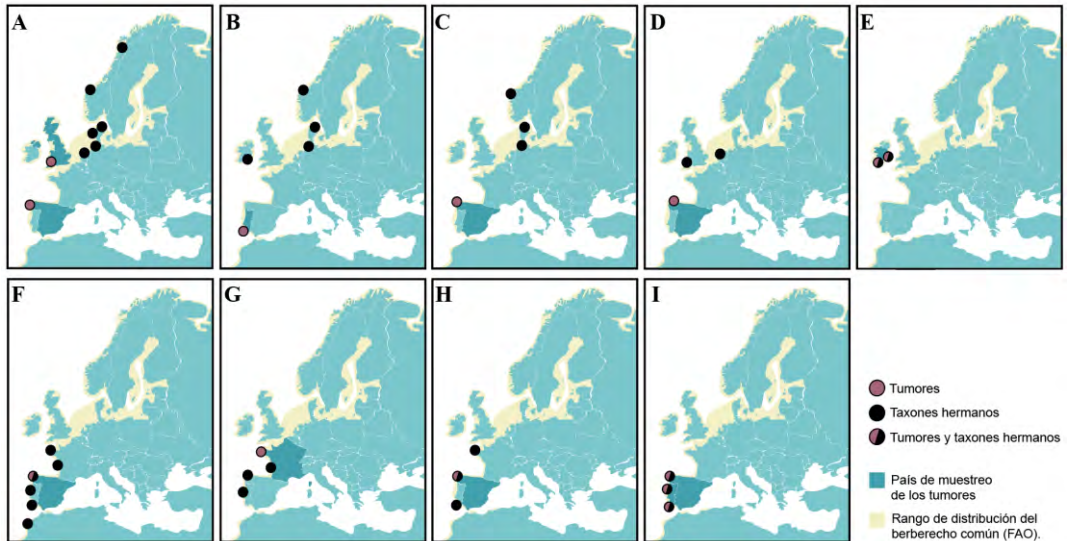


Figura 5. Un mapa para cada uno de los nueve linajes mitocondriales que indican las ubicaciones de recogida de los tumores (rosa) y de los taxones hermanos de cada linaje (negro).

Aunque no podemos descartar una causa antropogénica para algunos de estos patrones, la estructura geográfica de la filogenia del ADN mitocondrial sugiere que los linajes de CedBTN se han extendido a lo largo de largas distancias a lo largo de las costas atlánticas de Europa, posiblemente a través de un proceso gradual de colonización natural. Las células CedBTN han capturado las mitocondrias del huésped en diferentes puntos durante este proceso, muy probablemente para reemplazar el ADN mitocondrial actual fuertemente mutado (Rebbeck, Leroi and Burt, 2011; Spees et al., 2006; Tan et al., 2015).

## CONCLUSIONES

La presencia de múltiples linajes de ADN mitocondrial dentro de cada linaje nuclear (Ced-a-BTN1 y Ced-b-BNT2), indica que estos tumores de cáncer contagioso de berberecho han adquirido repetidamente mitocondrias de huéspedes transitorios.

## Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por la ERC Starting grant 716290 ("SCUBA CANCERS") otorgada a J.M.C. Tubio. A.L. Bruzos recibió financiación de un contrato predoctoral del Ministerio de Ciencia del Reino de España (BES2016/078166). El contrato de J. Rodríguez-Castro fue parcialmente financiado por el programa de estructuración y mejora de centros de investigación (Centros Singulares 2019, CiMUS). D. Posada contó con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación de España, MICINN (PID2019-106247GB-I00), el Consejo Europeo de Investigación (ERC-617457-PHYLOCANCER) y el gobierno regional español de la Xunta de Galicia.

Agradecemos al personal de las cofradías de pescadores de Galicia su asesoramiento y ayuda en el muestreo, especialmente a Lilliana Solís, Jorge Alfaya y Andrés Simón, y al Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) por la disponibilidad de recursos informáticos. Agradecemos a Lene Friis Møller (Instituto Nacional de Recursos Acuáticos, Dinamarca), Birgit Husel (Instituto Alfred Wegener), Maciej Wolowicz (Universidad de Gdansk), Tim Verstraeten (Universidad de Gante), María Luisa Martínez y Ana M. Insua Pombo (Universidade da Coruña), Carlos García de Leaniz (Universidad de Swansea), Aisling Smith y Alix Harvey (Marine Biological Association, Reino Unido), Rachel Parks (Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Reino Unido), y Thorolf Magnesen (Universitetet i Bergen, Noruega) por proporcionar muestras para este proyecto. Agradecemos a Merchi Rodríguez (Universidade de Vigo) por el apoyo administrativo.

## REFERENCIAS

Allio R., Donega S., Galtier N., and Nabholz B. (2017). Large variation in the ratio of mitochondrial to nuclear mutation rate across animals: Implications for genetic diversity and the use of mitochondrial DNA as a molecular marker, *Molecular Biology and Evolution*, 34(11), pp. 2762–2772. doi: 10.1093/molbev/msx197.

Auwers, G. and O'Connor, B. (2020) *Genomics in the Cloud: Using Docker, GATK, and WDL in Terra* (1st Edition). 1st ed. O'Reilly Media.

- Bachère, E., Chagot, D. and Grizel, H. (1988) 'Separation of *Crassostrea gigas* hemocytes by density gradient centrifugation and counterflow centrifugal elutriation', *Developmental and Comparative Immunology*, 12(3), pp. 549–559. doi: 10.1016/0145-305X(88)90071-7.
- Bouckaert, R. Bouckaert E., Vaughan T., Barido-Sottani J., Duchene S., Fourment M., Gavryushkina A., Heled J., Jones G., Kuhnert D., De Maio N., Matschiner M., Mendes F., Müller N., Ogilvie H., Plessis L., Poppinga A., Rambaut A., Rasmussen D., Siveroni I., Suchard M., Wu C., Xie D., Zhang C., Stadler T. and Drummond A. (2019). 'BEAST 2.5: An advanced software platform for Bayesian evolutionary analysis', *PLoS Computational Biology*, 15(4), pp. 1–28. doi: 10.1371/journal.pcbi.1006650.
- Carballal, M. J. , Iglesias D., Santamarina J., Ferro-Soto B. and Villalba A. (2001) 'Parasites and pathologic conditions of the cockle *Cerastoderma edule* populations of the coast of Galicia (NW Spain)', *Journal of Invertebrate Pathology*, 78(2), pp. 87–97. doi: 10.1006/jjipa.2001.5049.
- Carballal, M. J. , Barber B. J., Iglesias D. and Villalba A. (2015) 'Neoplastic diseases of marine bivalves', *Journal of Invertebrate Pathology*, 131, pp. 83–106. doi: 10.1016/j.jip.2015.06.004.
- Carss, D. N. , Brito A. C., Chainho P., Ciutat A., de Montaudouin X., Fernández Otero R. M., Filgueira M. I., Garbutt A., Goedknecht M. A., Lynch S. A., Mahony K. E., Maire O., Malham S. K., Orvain F., van der Schatte Olivier A. and Jones L. (2020) 'Ecosystem services provided by a non-cultured shellfish species: The common cockle *Cerastoderma edule*', *Marine Environmental Research*, 158(September 2019). doi: 10.1016/j.marenvres.2020.104931.
- Darriba, D., Posada D., Kozlov A. M., Stamatakis A., Morel B. and Flouri T. (2020) 'ModelTest-NG: A New and Scalable Tool for the Selection of DNA and Protein Evolutionary Models', *Molecular Biology and Evolution*, 37(1), pp. 291–294. doi: 10.1093/molbev/msz189.
- Díaz, S. (2005) Estudio de Neoplasia Diseminada y otras alteraciones patológicas y parásitos que afectan a las poblaciones de berberecho, *Cerastoderma edule*,

de Galicia. Trabajo de investigación para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Universidade de Santiago de Compostela.

Díaz, S., Villalba A., Insua A., Soudant P., Fernández-Tajes J., Méndez J. and Carballal M. J. (2013) 'Disseminated neoplasia causes changes in ploidy and apoptosis frequency in cockles *Cerastoderma edule*', *Journal of Invertebrate Pathology*, 113(3), pp. 214–219. doi: 10.1016/j.jip.2013.03.010.

Díaz, S., Cao A., Villalba A. and Carballal M. J. (2010) 'Expression of mutant protein p53 and Hsp70 and Hsp90 chaperones in cockles *Cerastoderma edule* affected by neoplasia', *Diseases of Aquatic Organisms*, 90(3), pp. 215–222. doi: 10.3354/dao02231.

Díaz, S. (2015) Neoplasia diseminada en poblaciones del berberecho *Cerastoderma edule* en Galicia. Universidade de Santiago de Compostela.

Drummond, A. J., Ho S. Y., Phillips M. J. and Rambaut A. (2006) 'Relaxed phylogenetics and dating with confidence', *PLoS Biology*, 4(5), pp. 699–710. doi: 10.1371/journal.pbio.0040088.

García-Souto, D., Bruzos A. L., Díaz S., Rocha S., Pequeño-Valtierra A., Roman-Lewis C. F., Alonso J., Rodríguez R., Costas D., Rodríguez-Castro J., Villanueva A., Silva L., Valencia J. M., Annona G., Tarallo A., Ricardo F., Bratoš Cetinić A., Posada D., Pasantés J. J. and Tubío J. M. (2022) 'Mitochondrial genome sequencing of marine leukaemias reveals cancer contagion between clam species in the Seas of Southern Europe', *eLife*, 11, pp. 1–20. doi: 10.7554/eLife.66946.

Hammel, M. (2022) 'Biologie, écologie et évolution du cancer transmissible MtrBTN2 des moules *Mytilus* sp'. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03604679>.

Huelsenbeck, J. P. and Ronquist, F. (2001) 'MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees', *Bioinformatics*, 17(8), pp. 754–755. doi: 10.1093/bioinformatics/17.8.754.

Hummel, H., Wolowicz, M. and Bogaards, R. H. (1994) 'Genetic variability and relationships for populations of *Cerastoderma edule* and of the *C. Glaucum*

- complex', *Netherlands Journal of Sea Research*, 33(1), pp. 81–89. doi: 10.1016/0077-7579(94)90053-1.
- Jin, Y. and Brown, R. P. (2018) 'Partition number, rate priors and unreliable divergence times in Bayesian phylogenetic dating', *Cladistics*, 34(5), pp. 568–573. doi: 10.1111/cla.12223.
- Kozlov, A. M., Darriba D., Flouri T., Morel B. and Stamatakis A. (2019) 'RAxML-NG: A fast, scalable and user-friendly tool for maximum likelihood phylogenetic inference', *Bioinformatics*, 35(21), pp. 4453–4455. doi: 10.1093/bioinformatics/btz305.
- Krakau, M., Jacobsen, S., Jensen, K. T. and Reise, K. (2012) 'The cockle *Cerastoderma edule* at Northeast Atlantic shores: Genetic signatures of glacial refugia', *Marine Biology*, 159(1), 221–230. doi: 10.1007/s00227-011-1802-8.
- Li, H., Handsaker B., Wysoker A., Fennell T., Ruan J., Homer N., Marth G., Abecasis G., Durbin R. and 1000 Genome Project Data Processing Subgroup. (2009) 'The Sequence Alignment/Map format and SAMtools', *Bioinformatics*, 25(16), pp. 2078–2079. doi: 10.1093/bioinformatics/btp352.
- Li, H. (2013) 'Aligning sequence reads, clone sequences and assembly contigs with BWA-MEM', 00(00), pp. 1–3. Available at: <http://arxiv.org/abs/1303.3997>.
- Maia, F., Barroso, C. M. and Gaspar, M. B. (2021) 'Biology of the common cockle *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758) in Ria de Aveiro (NW Portugal): Implications for fisheries management', *Journal of Sea Research*, 171 (February), p. 102024. doi: 10.1016/j.seares.2021.102024.
- Martínez, L., Méndez J., Insua A., Arias-Pérez A. and Freire R. (2013) 'Genetic diversity and population differentiation in the cockle *Cerastoderma edule* estimated by microsatellite markers', *Helgoland Marine Research*, 67(1), pp. 179–189. doi: 10.1007/s10152-012-0314-3.
- Martínez, L., Freire, R., Arias-Pérez, A. and Insua A. (2015) 'Patterns of genetic variation across the distribution range of the cockle *Cerastoderma edule*

- inferred from microsatellites and mitochondrial DNA', *Marine Biology*, 162, pp. 1393–1406. doi: 10.1007/s00227-015-2676-y.
- Metzger, M. J., Reinisch C., Sherry J. and Goff S. P. (2015) 'Horizontal transmission of clonal cancer cells causes leukemia in soft-shell clams', *Cell*, 161(2), pp. 255–263. doi: 10.1016/j.cell.2015.02.042.
- Metzger, M. J., Villalba A., Carballal M. J., Iglesias D., Sherry J., Reinisch C., Muttray A. F., Baldwin S. A. and Goff S. P. (2016) 'Widespread transmission of independent cancer lineages within multiple bivalve species', *Nature*, 534(7609), pp. 705-709. doi: 10.1038/nature18599.
- Metzger, M. J. and Goff, S. P. (2016) 'A Sixth Modality of Infectious Disease: Contagious Cancer from Devils to Clams and Beyond', *PLoS Pathogens*, 12(10), pp. 1–7. doi: 10.1371/journal.ppat.1005904.
- Michnowska, A., Hart S. F. M., Smolarz K., Hallmann A. and Metzger M. J. (2022) 'Horizontal transmission of disseminated neoplasia in the widespread clam *Macoma balthica* from the Southern Baltic Sea', *Molecular ecology*, 31(11), pp. 3128–3136. doi: 10.1111/mec.16464.
- Minh, B., Schmidt, H. A., Chernomor, O., Schrempf, D., Woodhams, M. D., von Haeseler, A., and Lanfear, R. (2020) 'IQ-TREE 2: New models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era', *Mol. Biol. Evol.*, 37(5), pp. 1530–1534. doi: 10.1093/molbev/msaa015.
- Miura, S., Gomez, K., Murillo, O., Huuki, L. A., Vu, T., Buturla, T. and Kumar, S. (2018) 'Predicting clone genotypes from tumor bulk sequencing of multiple samples', *Bioinformatics*, 34(23), pp. 4017–4026. doi: 10.1093/bioinformatics/bty469.
- De Montaudouin, X., Arzul I., Cao A., Carballal M. J., Chollet B., Correira S., Cuesta J., Culloty S., Daffe G., Darriba S., Díaz S., Engelsma M., Freitas R., Garcia C., Goedknecht A., Gonzalez P., Grade A., Groves E., Iglesias D., Jensen K. T., Joaquim S., Lynch S., Magalhaes L., Mahony K., Maia F., Malham S., Matias D., Nowaczyk A., Ruano F., Thieltges D. and Villalba A. (2021) Catalogue of parasites

and diseases of the common cockle *Cerastoderma edule*. 1st edn. UA Editora – Universidade de Aveiro. doi: 10.34624/9a9c-9j21.

Poder, M. and Auffret, M. (1986) 'Sarcomatous lesion in the cockle *Cerastoderma edule*. I. Morphology and population survey in Brittany, France', *Aquaculture*, 58(1–2), pp. 1–8. doi: 10.1016/0044-8486(86)90151-1.

Popic, V., Salari, R., Hajirasouliha, I., Kashef-Haghighi, D., West, R. B. and Batzoglou, S. (2015) 'Fast and scalable inference of multi-sample cancer lineages', *Genome Biology*, 16(1), pp. 1–17. doi: 10.1186/s13059-015-0647-8.

Rambaut, A., Drummond, A. J., Xie, D., Baele, G. and Suchard, M. A. (2018) 'Posterior summarization in Bayesian phylogenetics using Tracer 1.7', *Systematic Biology*, 67(5), pp. 901–904. doi: 10.1093/sysbio/syy032.

Rebbeck, C. A., Leroi, A. M. and Burt, A. (2011) 'Mitochondrial Capture by a Transmissible Cancer', *Science*, 331, p. 303. doi: 10.5061/dryad.8081.C.

Robinson, J. T., Thorvaldsdóttir, H., Winckler, W., Guttman, M., Lander, E. S., Getz, G. and Mesirov, J. P. (2011) 'Integrative Genome Viewer', *Nature Biotechnology*, 29(1), pp. 24–6. doi: 10.1038/nbt.1754.

Romalde, J. L., Luz Vilariño, M., Beaz, R., Rodríguez, J. M., Díaz, S., Villalba, A. and Carballal, M. J. (2007) 'Evidence of retroviral etiology for disseminated neoplasia in cockles (*Cerastoderma edule*)', *Journal of Invertebrate Pathology*, 94(2), pp. 95–101. doi: 10.1016/j.jip.2006.09.007.

Ruiz, P., Orbea, A., Carballal, M. J., Villalba, A. and Cajaraville, M. P. (2013) 'Biomarkers and transcription levels of cancer-related genes in cockles *Cerastoderma edule* from Galicia (NW Spain) with disseminated neoplasia', *Aquatic Toxicology*, 136–137, pp. 101–111. doi: 10.1016/j.aquatox.2013.03.018.

Poplin R., Ruano-Rubio V., DePristo M. A., Fennell T. J., Carneiro M. O., Van der Auwera G. A., Kling D. E., Gauthier L. D., Levy-Moonshine A., Roazen D., Shakir K., Thibault J., Chandran S., Whelan C., Lek M., Gabriel S., Daly M. J., Neale B.,



- MacArthur D. G. and Banks E. (2018) 'Scaling accurate genetic variant discovery to tens of thousands of samples', bioRxiv, pp. 1–22.
- Da Silva, P. M., P. M., Soudant, P., Carballal, M. J., Lambert, C. and Villalba, A. (2005) 'Flow cytometric DNA content analysis of neoplastic cells in haemolymph of the cockle *Cerastoderma edule*', *Diseases of Aquatic Organisms*, 67(1–2), pp. 133–139. doi: 10.3354/dao067133.
- Skazina, M., Odintsova, N., Maiorova, M., Ivanova, A., Väinölä, R. and Strelkov, P. (2021) 'First description of a widespread *Mytilus trossulus*-derived bivalve transmissible cancer lineage in *M. trossulus* itself', *Scientific Reports*, 11(1), 5809, pp. 1–13. doi: 10.1038/s41598-021-85098-5.
- Skazina, M., Odintsova, N., Maiorova, M., Frolova, L., Dolganova, I., Regel, K. and Strelkov, P. (2022) 'Two lineages of bivalve transmissible neoplasia affect the blue mussel *Mytilus trossulus* Gould in the subarctic Sea of Okhotsk', *Current Zoology*, 69(1), pp. 91–102.
- Spees, J. L., Olson, S. D., Whitney, M. J. and Prockop, D. J. (2006) 'Mitochondrial transfer between cells can rescue aerobic respiration', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(5), pp. 1283–1288. doi: 10.1073/pnas.0510511103.
- Swofford, D. L. (2002) 'PAUP: phylogenetic analysis using parsimony, version 4.0 b10.'
- Tan, A. S., Baty, J. W., Dong, L. F., Bezawork-Geleta, A., Endaya, B., Goodwin, J., Bajzikova, M., Kovarova, J., Peterka, M., Yan, B., Pesdar, E. A., Sobol, M., Fillimonenko, A., Stuart, S., Vondrusova, M., Kluckova, K., Sachaphibulkij, K., Rohlena, J., Hozak, P., Truksa, J., Eccles D., Haupt L. M., Griffiths L. R., Neuzil J. and Berridge, M. V. (2015) 'Mitochondrial genome acquisition restores respiratory function and tumorigenic potential of cancer cells without mitochondrial DNA', *Cell Metabolism*, 21(1), pp. 81–94. doi: 10.1016/j.cmet.2014.12.003.
- Tebble, N. (1976) *British bivalve seashells; a handbook for identification*, Royal Scottish Museum.

- Tischler, G. and Leonard, S. (2014) 'Biobambam: Tools for read pair collation based algorithms on BAM files', *Source Code for Biology and Medicine*, 9(1), pp. 1–18. doi: 10.1186/1751-0473-9-13.
- Twomey, E. and Mulcahy, M. (1984) 'A proliferative disorder of possible haemic origin in the common cockle, *Cerastoderma edule*', *Journal of Invertebrate Pathology*, 44, pp. 109–111.
- Tyler-Walters, H. (2007) '*Cerastoderma edule* Common cockle', *Cerastoderma edule* Common cockle. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) *Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews*, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom, pp. 1–23. Available at: <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1384>.
- Vera, M., Maroso, F., Wilmes, S. B., Hermida, M., Blanco, A., Fernández, C., Groves, E., Malham, S. K., Bouza, C., Cockle's Consortium, Robins, P. E. and Martínez, P. (2021) 'Genomic survey of edible cockle (*Cerastoderma edule*) in the Northeast Atlantic: A baseline for sustainable management of its wild resources', *Evolutionary Applications*, (December 2020), pp. 262–285. doi: 10.1111/eva.13340.
- Villalba, A., Carballal, M. J. and López, C. (2001) 'Disseminated neoplasia and large foci indicating heavy haemocytic infiltration in cockles *Cerastoderma edule* from Galicia (NW Spain)', *Diseases of Aquatic Organisms*, 46(3), pp. 213–216. doi: 10.3354/dao046213.
- Warren, D. L., Geneva, A. J. and Lanfear, R. (2017) 'RWTY (R We There Yet): An R package for examining convergence of Bayesian phylogenetic analyses', *Molecular Biology and Evolution*, 34(4), pp. 1016–1020. doi: 10.1093/molbev/msw279.
- Yonemitsu M. A., Sevigny, J. K., Vandepas, L. E., Dimond, J. L., Giersch, R. M., Gurney-Smith, H. J., Abbott, C. L., Supernault, J., Withler, R., Smith, P. D., Weinandt, S. A., Garrett F. E. S., Sigo, R., Unsell, E., Crim, R. and Metzger, M. J.

(2023) 'Multiple lineages of transmissible neoplasia in the basket cockle (*Clinocardium nuttallii*) with repeated horizontal transfer of mitochondrial DNA', bioRxiv. doi: 10.1101/2023.10.11.561945.

Yonemitsu, M. A., Giersch, R. M., Polo-Prieto, M., Hammel, M., Simon, A., Cremonte, F., Avilés, F. T., Merino-Véliz, N., Burioli, E. A., Muttray, A. F., Sherry, J., Reinisch, C., Baldwin, S. A., Goff, S. P., Houssin, M., Arriagada, G., Vázquez, N., Bierne, N. and Metzger, M. J. (2019) 'A single clonal lineage of transmissible cancer identified in two marine mussel species in South America and Europe', *Elife*, 8(e47788), pp. 1–21. Doi: 10.7554/eLife.47788.

Zare, H., Wang, J., Hu, A., Weber, K., Smith, J., Nickerson, D., Song, C., Witten, D., Blau, C. A. and Noble, W. S. (2014) 'Inferring Clonal Composition from Multiple Sections of a Breast Cancer', *PLoS Computational Biology*, 10(7). doi: 10.1371/journal.pcbi.1003703.



# Estudio comparativo de la eficiencia de alimentación de tilapia *Oreochromis niloticus* con biofloc generado a partir de humus de lombriz (HUMUSOL)

## Comparative Study of the Feeding Efficiency of Tilapia *Oreochromis niloticus* with Biofloc Generated from Earthworm Humus (HUMUSOL)

Martín Añez

Inversiones de Guanayen F.P., las Palmas, España  
Correspondencia Martín Añez ✉ correo@gmail.com

Palabras clave |  
Biofloc,  
HUMUSOL,  
Amonio,  
Acuicultura.

**RESUMEN** | El HUMUSOL es un mejorador de suelos orgánico en polvo estandarizado, con macro y micro elementos presentes, con carga bacteriana de Aeróbicos mesófilos celulolíticos, Aerobios termófilos celulolíticos, Mesófilos proteolíticos, Termófilos proteolíticos, Mesófilos amonificantes, Termófilos amonificantes, Mesófilos nitrificantes, Mesófilos desnitrificantes, Mesófilos sulfato reductores, Mesófilos sulfoxidantes en cantidades significativas. La experiencia fue realizada en finca del sector La Mariposa de Valencia, Edo Carabobo; en estanques plásticos circulares de dos mil litros llenados al 50%, con una densidad de 50 organismos por m<sup>3</sup>, utilizando una batería de tanques de a dos por grupo, con tratamientos diferentes, el primer grupo fue alimentado con alimento concentrado mas biofloc, el segundo grupo solo con biofloc y los del grupo tres con alimentación convencional. Se realizaron mediciones semanales de peso de los peces y parámetros físico-químicos del agua de los tanques a excepción del oxígeno. El tratamiento más eficiente fue el primer grupo (alimento + biofloc) con un 16% por encima de la alimentación convencional, Estos resultados se basan en el mayor aumento de peso de los peces del primer grupo con respecto a los demás a lo largo de la experiencia. Se puede concluir que la utilización de esta biotecnología es una alternativa eficiente para obtener un mayor rendimiento en los cultivos de peces.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación busca ofrecer una solución a la acuicultura en cuanto a: problemas ambientales asociados a la descarga de los productos de desechos en los cuerpos de agua; dependencia con la harina y aceite de pescado y reducir el gasto de alimento para peces, disminuyendo los costos de producción.

Se realiza con la finalidad de comprobar la efectividad del sistema de alimentación Biofloc en la acuicultura, siendo promovido por la utilización de humus de lombriz comercial (HUMUSOL) como fuente de nitrógeno, carbono, y sobre todo de la carga bacteriana necesaria para los procesos bioquímicos beneficiosos del sistema.



Esta investigación pretendió realizar un aporte desde el punto de vista científico proporcionando un sistema alternativo de producción de especies acuáticas en general y en este caso específico la tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Seis tanques circulares de 2.000 lts, 300 alevines de tilapia nilótica (50 por tanque), Kit de Medidores de Ph y Nitrógeno (NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, N0<sub>2</sub>) para acuarios marca SERA, Salabardos de 6" y 10", Atarraya de 1 mt de diámetro, 400 Kg humus de lombriz HUMUSOL, 8 sacos de alimento concentrado para peces (25 Kg) marca Super S de 24 % de proteína, Balanza electrónica de campo, Bolsas plásticas de asa de 5 Kg agujereadas, 6 bombas de aire marca BOYU modelo U-9900, 24 mts de manguera plástica transparente para aireación, 12 piedras difusoras de 6", 6 Tobos plásticos de 20 lts, Termómetro de campo

Fueron seleccionadas 300 peces de la especie *Oreochromis niloticus*, por su disponibilidad en las lagunas de la finca donde eran cultivadas en forma extensiva y sin ningún control genético.



Tomando en cuenta el espacio y los recursos disponibles, se utilizaron seis tanques plásticos bajos marca Deco Glass de la finca, con un volumen de dos mil litros, 1,5 mt de diámetro, llenados a su media capacidad debido a condiciones climáticas de lluvia constante en el momento de realizar la experiencia.



Se formaron en tres grupos de tanques con una réplica cada uno, para asegurar la fiabilidad de los datos a obtener y se designó un sistema de alimentación para cada grupo:

- Grupo 1 Sistema de alimentación Biofloc mas alimento convencional
- Grupo 2 Sistema de alimentación únicamente con Biofloc
- Grupo 3: Alimento convencional.

Se dió inicio al control semanal de crecimiento de los peces anotando el incremento de masa de cada grupo alimentando los organismos con el 10% de su peso promedio, comenzando con un peso promedio de cada organismo de 30 gr.

Fueron alimentados diariamente los peces del tanque del Grupo 1 y Grupo 3 con alimento concentrado para peces de 24% de proteína marca Super S, con un

10% del peso promedio de la muestra obtenida y calculando el alimento con el 100% de la población de cada tanque.

A los tanques del Grupo 3, les fueron removidos los desechos orgánicos del fondo por sifoneo y se hicieron recambios del agua en un 10 % del volumen total en cada muestra. En los otros tanques no fue realizado recambio ni sifoneo.



Tanque 1, Alimentación con sistema Biofloc



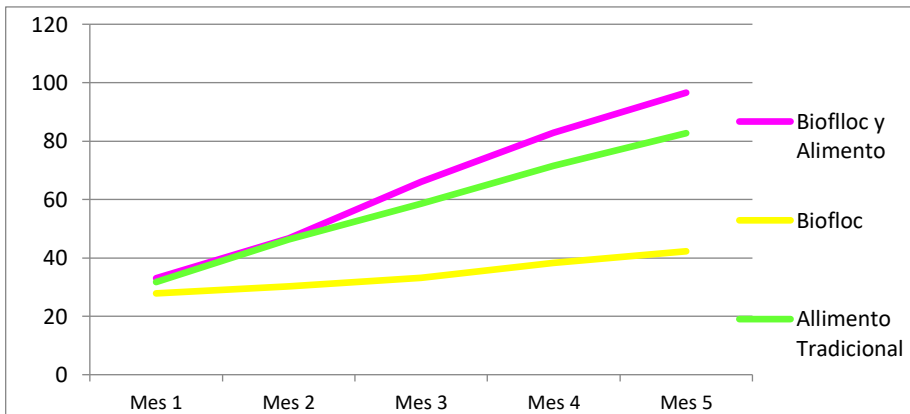
Tanques 5 y 6, Alimentación Tradicional



Para llevar a cabo el control de crecimiento fueron capturados los peces en los muestreos de cada tanque con una atarraya de 1mt de diámetro, utilizando como muestra la cantidad de peces capturados y promediados luego con el resto de la población, siendo colocados en bolsas de asa de 5 Kg perforadas para drenar el exceso de agua, se midieron los pesos de cada grupo utilizando un peso electrónico de campo, se midieron temperatura, PH y el nitrógeno en sus diferentes formas (NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>) con un termómetro de campo y un Kit de medición de parámetros del agua respectivamente.

Fueron añadidos semanalmente 5 Kg de Humusol (humus de Lombriz) a cada tanque de los Grupos 1 y 2 como proveedor de cepas bacterianas al medio, con la intención de promover la formación del Biofloc en los tanques, potenciándolos durante las primeras dos semanas con adición de un litro de melaza a los tanques mencionados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



19/11/2014

IDG

11

Gráfico 1. Aumento de masa de Tilapias con los distintos tipos de Alimentación

En los tanques del Grupo 2 (solo Biofloc), no se observa un incremento significativo de la masa de las Tilapias.

En los tanques de los Grupos 1(Biofloc y Alimento) y 3(Alimento Tradicional), se observa un incremento proporcional de la variable desde el primer mes.

En los tanques del Grupo 1(Biofloc y Alimento) se observa un incremento de la tasa de crecimiento por encima de los otros dos grupos a partir del segundo mes, denotándose una diferencia del 16 % por encima de los tanques del Grupo 3(Alimento Tradicional).

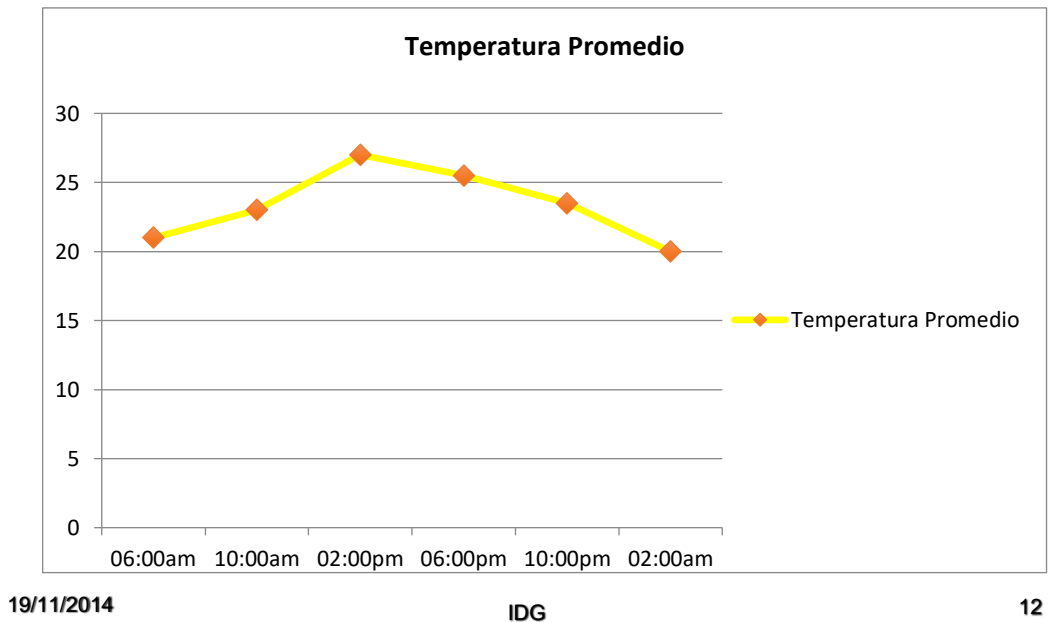


Gráfico 2. Variación Promedio de la Temperatura de los Tanques

En este gráfico podemos observar diferencias de temperatura promedio de hasta seis grados a lo largo del horario estudiado; sin embargo, estos cambios fueron tolerados por los organismos sin causar afecciones en su desenvolvimiento en la experiencia.

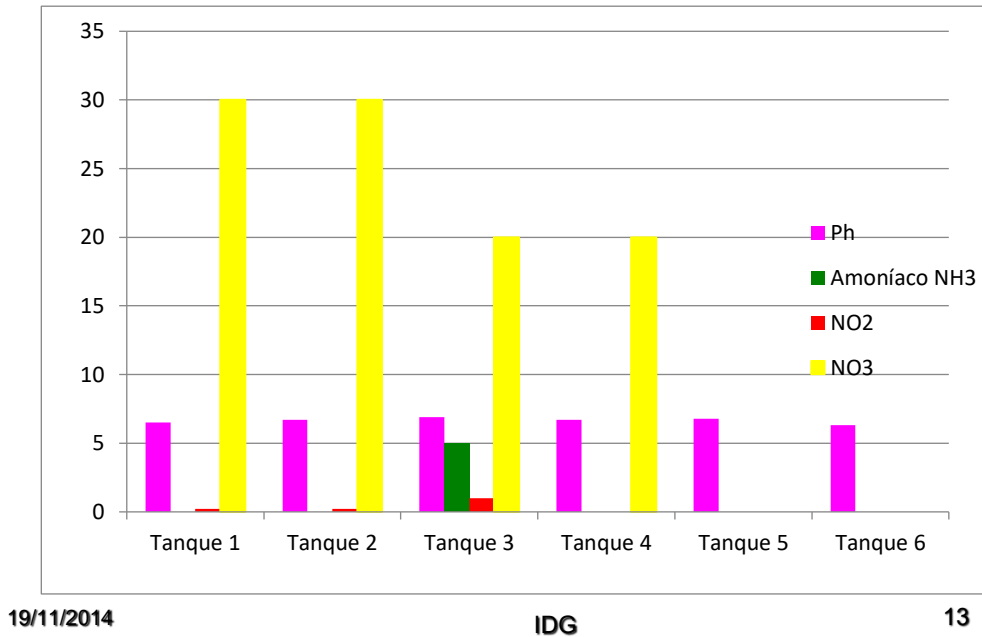


Gráfico 3. Control de la composición química del agua

En los tanques del Grupo 3 (Alimento Tradicional) no se encontraron medidas de Nitrógeno en ninguna de sus formas, puesto que fueron removidos los desechos regularmente del sistema.

En el tanque # 3 fueron medidos altos niveles de Amonio y estuvieron presentes nitritos, esto se debió a un error experimental ocurrido específicamente en ese tanque.

Se observa que en todos los tratamientos el Ph se mantuvo estable a lo largo de la experiencia y dentro de los valores ideales para los peces.

En los tanques del Grupo 1 (Biofloc y Alimento) y Grupo 2 (Biofloc) el nitrógeno encontrado fue medido en forma de Nitratos (NO3) única forma no tóxica para los organismos de la experiencia, encontrándose en mayor concentración en los tanques pertenecientes al Grupo 1 (Biofloc y Alimento). Es importante recalcar que en estos tanques no fueron requerido el sifoneo ni el recambio.

## CONCLUSIONES

El tratamiento más eficiente fue el de los tanques pertenecientes al primer grupo (Biofloc y Alimento)) con un 16% por encima de la alimentación Tradicional, que es hasta ahora lo más utilizado en la acuicultura.

El sistema Biofloc, controla los niveles de sustancias nocivas para las especies del cultivo, como por ejemplo el amoníaco ( $\text{NH}^3$ ) y los nitritos ( $\text{NO}^2$ ), sustancias letales para los peces en altas concentraciones y que son removidas del sistema por acción de las bacterias presentes, transformándolas en alimento dentro del mismo tanque. Esto evita los trabajos adicionales de recambio de agua y/o sifoneo.

El tratamiento de los tanques con solo Biofloc logró mantener las tilapias con vida sin un incremento importante de la masa corporal, pero con un 100 % de sobrevivencia hasta el final de la experiencia.

## RECOMENDACIONES

Para una acuicultura eficiente es recomendable utilizar la combinación de alimento Tradicional con Biofloc promovido por el producto Humusol.



# Propuesta para el estudio de acoplamiento molecular de las toxinas Pir A y Pir B (AHPND) de *Vibrio parahaemolyticus* con algunos posibles ligandos inhibidores

Proposal for the study of molecular coupling of the toxins Pir A and Pir B (AHPND) of *Vibrio parahaemolyticus* with some possible inhibitory ligands

Edison Pascal<sup>1</sup>, Edgar Portillo<sup>1</sup>,  
Aníbal Méndez<sup>1</sup>, Helimar Vásquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Química Biofísica Experimental y Teórica,  
Línea de Investigación en Zoología Médica y Ecoepidemiología Molecular,  
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Venezuela

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Veterinarias,  
Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela

Correspondencia Edison Pascal  [edisonpascal@gmail.com](mailto:edisonpascal@gmail.com)

Palabras clave |  
Toxinas,  
acoplamiento  
molecular,  
AHPND,  
hepatopáncreas.

**RESUMEN** | La enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND), la cual era conocida como síndrome de mortalidad temprana (EMS), es una enfermedad emergente del camarón que ha causado una reducción de más del 60 % en la producción de camarón blanco del pacífico *Litopenaeus vannamei* en todo el mundo, con pérdidas económicas globales estimadas en hasta mil millones de dólares anuales. Dicha enfermedad es causada por la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*, tiene un gen que codifica para una toxina binaria (Pir A y Pir B) que produce alteraciones a nivel celular en el hepatopáncreas de los crustáceos. Los esfuerzos para controlar la AHPND se han visto obstaculizados por la falta de un método de detección rápido y específico, y por el poco conocimiento de ligandos que puedan neutralizar esta toxina binaria. Desde esta perspectiva, esta investigación tiene como objetivo proponer un estudio de acoplamiento molecular

de las toxinas Pir A y Pir B (AHPND) de *V. parahaemolyticus* con algunos posibles ligandos inhibidores, el análisis de acoplamiento molecular se realizará con algunas herramientas de biocomputación que permiten realizar ensamblajes a nivel molecular (como DockThor), los cristales de las toxinas serán obtenidos del Protein Data Bank para su uso con las herramientas moleculares bioinformáticas.

Keywords |  
Toxins,  
molecular docking,  
AHPND,  
hepatopancreas.

**ABSTRACT** | Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND), which was known as early mortality syndrome (EMS), is an emerging shrimp disease that has caused a more than 60% reduction in the production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in around the world, with global economic losses estimated at up to \$1 billion annually. This disease is caused by the bacteria *Vibrio parahaemolyticus*, it has a gene that codes for a binary toxin (Pir A and Pir B) that produces alterations at the cellular level in the hepatopancreas of crustaceans. Efforts to control AHPND have been hampered by the lack of a rapid and specific detection method and by little knowledge of ligands that can neutralize this binary toxin. From this perspective, this research aims to propose a molecular docking study of the toxins Pir A and Pir B (AHPND) of *V. parahaemolyticus* with some possible inhibitory ligands, the molecular docking analysis will be carried out with some biocomputing tools that allow performing Assemblies at the molecular level (such as DockThor), the toxin crystals will be obtained from the Protein Data Bank for use with molecular bioinformatics tools.

## INTRODUCCIÓN

El camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) es un decápodo de la orden de los crustáceos ampliamente utilizado en la acuicultura. Uno de los aspectos más importantes en relación con el cultivo del camarón blanco es la salud, dentro la acuicultura, la falta de evaluaciones clínicas rutinarias de los animales y la ausencia de personal profesional capacitado (biólogos, médicos veterinarios, ingenieros en pesca o agrónomos, entre otros), pueden facilitar la propagación de enfermedades entre los estanques o lagos de cultivo (Pascal, et al., 2023).

La frecuente aparición e impacto de enfermedades infecciosas en la acuicultura ha ocasionado significativas pérdidas tanto en términos de producción como económicos. La presencia constante y el impacto significativo de enfermedades infecciosas en la industria del camarón han ocasionado importantes pérdidas tanto en términos de producción como económicos. Los virus y las bacterias se encuentran entre los principales agentes patógenos que afectan a los camarones, y factores como el entorno y las condiciones de cultivo propician su rápida propagación y ataque. Estos agentes pueden localizarse en diversas partes del camarón, así como en el agua, el alimento y los sedimentos de los estanques de cultivo (Valera, Peña y Aranguren, 2018). Sin embargo, a pesar del crecimiento sostenido de la producción camaronera en Latinoamérica, en la última década ha habido un aumento significativo en la prevalencia de enfermedades de origen viral y bacteriano en los organismos de cultivo. Se ha señalado que las fluctuaciones en los parámetros físico-químicos del agua de los estanques son uno de los factores asociados a este fenómeno (Valera y Peña, 2015).

La enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND), la cual era conocida como síndrome de mortalidad temprana (EMS), es una enfermedad emergente del camarón que ha causado una reducción de más del 60 % en la producción de camarón blanco del pacífico *L. vannamei* en todo el mundo, con pérdidas económicas globales estimadas en hasta mil millones de dólares anuales. Dicha enfermedad es causada por la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*, la cual, tiene un gen que codifica para una toxina binaria (Pir A y Pir B) que produce alteraciones a nivel celular en el hepatopáncreas de los crustáceos. Los esfuerzos para controlar la AHPND se han visto obstaculizados por la falta de un método de detección rápido y específico (Sirikharin *et al.*, 2015), y por el poco conocimiento de ligandos que puedan neutralizar esta toxina binaria. Esto se debe a la adquisición reciente de un plásmido, llamado pVA1, el cual codifica para una toxina binaria, la cual se conoce como Pir A y Pir B que causan la patología ligada al AHPND sobre el camarón blanco de cultivo (*P. vannamei*), afectando al hepatopáncreas de dicha especie, debido a la acumulación de estas toxinas. No obstante, la ingesta de camarones infectados con *Vibrio parahaemolyticus* podría tener consecuencias sobre la salud humana debido a las toxinas TDH y TRH (Barrantes, 2023). Sin embargo, los mecanismos subyacentes del aumento de la cantidad de especies de *Vibrio* que causan AHPND no están completamente

conocidos. Todas las bacterias causantes de AHPND poseen este plásmido altamente homólogo (pVA1) que lleva genes de la toxina de PirAB. La patología del AHPND se caracteriza por mortalidades repentinas y masivas (100%) en larvas o juveniles con 30 a 35 días (d) de cultivo (Morales, et al., 2022).

*Vibrio parahaemolyticus* es una bacteria halófila Gram negativa que, junto a otros vibrios marinos, es una de las especies que componen la microbiota normal en estuarios y del agua de mar y de algunos organismos que en ella viven. El número de *V. parahaemolyticus* en el agua de mar estaría asociado, al igual que el *Vibrio cholerae*, a la concentración de zooplancton, especialmente a copépodos y a la temperatura. Esto indicaría que las concentraciones de *V. parahaemolyticus* en el agua de mar pueden variar con aquellos factores que produzcan variaciones del zooplancton, incluyendo temperatura, luminosidad, corrientes marinas, concentración de nutrientes y concentración del fitoplancton, entre muchos otros (Hernández, et al., 2005). Una de las alternativas para el manejo de esta bacteria es el uso de antibióticos, sin embargo, el uso indiscriminado de estas sustancias ha generado cepas resistentes que han causado importantes pérdidas económicas, efectos nocivos al ambiente y por lo tanto están siendo prohibidos por muchos países. Además, se han encontrado que algunas cepas de *V. parahaemolyticus* asociados a AHPND cuentan con resistencia a tetraciclina (resistencia dada por el plásmido pVA1), dicho compuesto antibacteriano es el más utilizado en la acuicultura (Trujillo, 2016). Desde esta perspectiva, esta investigación tiene como objetivo proponer un estudio de acoplamiento molecular de las toxinas Pir A y Pir B (AHPND) de *V. parahaemolyticus* con algunos posibles ligandos inhibidores

## DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE ACOPLAMIENTO MOLECULAR

### Estructura Molecular Toxinas Pir A y Pir B

La toxina Pir AB es una toxina binaria producida por *Vibrio parahaemolyticus*, que consta de dos subunidades: Pir A (14,0 KDa) y Pir B (50,0 KDa). Estas toxinas son homólogas a las producidas por la bacteria *Photobacterium luminescens*, que tienen propiedades insecticidas y se producen en simbiosis con nematodos entomopatógenos (PIR por sus siglas en inglés). La toxina PirAB es codificada por el plásmido pVA1, que se encuentra en todas las bacterias VAHPND. Aunque se



han realizado algunos estudios moleculares para tratar de inhibir la AHPND, no han sido del todo exitosos debido a la falta de conocimiento del mecanismo de acción de la toxina, incluyendo los receptores a los cuales se une en el tejido que daña, así como el proceso que genera en el interior de las células.

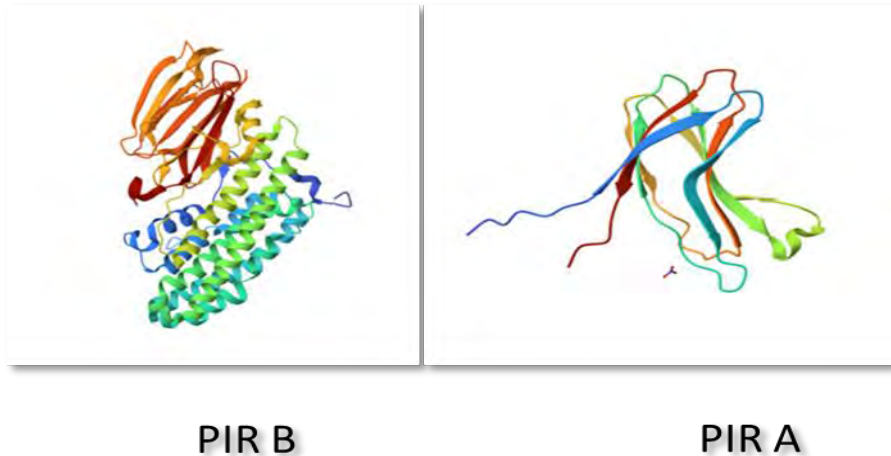


Figura 1. Estructura molecular de las toxinas Pir A y Pir B, provenientes de la bacteria *V. parahaemolyticus*. Fuente: Protein Data Bank (RCBS-PDB, 2015).

Se ha estudiado la interacción de la toxina PirAB (Figura 1) con las proteínas hepatopancreáticas de camarón blanco. Aunque no se encontraron resultados específicos sobre las características moleculares de Pir A y Pir B en las diferentes fuentes, se ha sugerido que los genes que codifican estas toxinas fueron adquiridos posteriormente por el plásmido (Almanza, 2018).

Herramientas Químicas Biofísicas Computacionales para realizar acoplamientos moleculares (*Docking*) de las toxinas con posibles ligandos inhibidores

El acoplamiento molecular es un método de cálculo que predice la conformación preferida de una molécula (generalmente una proteína) y su ligando (como un fármaco) para estimar su afinidad y actividad. Este método es esencial en el diseño racional de fármacos y en la comprensión de cómo los fármacos interactúan con sus objetivos biológicos. La biofísica computacional, como la Biología Estructural Computacional (CSB), desempeña un papel

importante en el estudio de la estructura y función de las proteínas y en la predicción de sus interacciones con ligando. La CSB ha sido utilizada para estudiar la estructura y función de moléculas biológicas y ha sido fundamental para mejorar nuestra comprensión de cómo estas moléculas interactúan entre sí (González et al., 2010; Parra, 2021).

Para esta propuesta se está utilizando el servidor de acoplamiento molecular conocido como DockThor, el cual permite facilitar la preparación de proteínas y ligandos, incluyendo ajustes en los estados de protonación de los residuos de aminoácidos y la incorporación de cofactores. Los resultados de los experimentos de acoplamiento se organizan y clasifican de forma automática. Este programa utiliza las instalaciones computacionales proporcionadas por el Grupo de Modelagem Molecular en Sistemas. Es importante mencionar que DockThor solo admite una pestaña a la vez y receptores de proteínas con extensiones de archivo .pdb o .in. Esta herramienta es útil para el cribado virtual de compuestos con potencial actividad biológica, como en la búsqueda de posibles tratamientos para el virus SARS-CoV-2 (Moreira et al., 2020; Equisoain, 2021).

### Posibles ligandos inhibidores de la toxina PirAB

Un ligando inhibidor de una toxina en docking molecular se refiere a un compuesto que se une a una proteína o enzima, bloqueando su actividad o función biológica. En el proceso de docking molecular, se estudia la interacción entre el ligando y su objetivo, como una proteína o enzima, para comprender cómo el ligando inhibidor interactúa con la toxina y cómo puede ser utilizado como un tratamiento o antídoto para neutralizar la acción de la toxina (Moreira et al., 2020).

En base a la información previamente mencionada, se llevó a cabo una exploración en busca de compuestos con potencial acción inhibidora sobre el complejo de la toxina Pir AB.

### Neutralización de Pir A y Pir B

- Vitamina C
- N-acetilcisteína
- Ácido gamma-linoléico

### Compuestos Fenólicos

- Quinonas
- Taninos
- Cumarinas

### Oleorresinas provenientes de *Capsicum*

- Oleorresinas
- Capsaicinoides

### Contra *Vibrio parahaemolyticus*

- Ácido Tánico
- Camptotectina
- Quercetina (Flavonoide)
- Epigallocatequina-3-galato (EGCG)
- Ácido Gálico (Fenol)

Existen pocas referencias en cuanto al uso de diversos compuestos naturales que puedan interactuar sobre las toxinas Pir AB de *V. parahaemolyticus*, sin embargo, se ha descrito el uso de algunas sustancias, como los compuestos fenólicos. Estos compuestos podrían ser útiles para desarrollar tratamientos contra la infección causada por esta bacteria (Osuna *et al.*, 2016).

## POSIBLES RESULTADOS

La falta de alternativas en la sanidad animal ante la enfermedad AHPND, que causa importantes mortalidades en los animales, es evidente. Actualmente, solo se dispone de antibióticos y fagoterapia para su control. Se espera que un número significativo de los ligandos propuestos ejerzan actividad inhibitoria sobre el complejo Pir AB mediante docking molecular, lo que podría plantear nuevos tratamientos alternativos para el manejo de esta patología acuática.

A manera de conclusión, podemos establecer que, la enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND) ha tenido un impacto significativo en la producción mundial de camarón blanco, con pérdidas económicas muy significativas. Esta enfermedad bacteriana, presenta desafíos en su control debido a la falta de un método de detección rápido y específico, así como al limitado

conocimiento de ligandos que puedan neutralizar la toxina binaria Pir A y Pir B. En este contexto, la investigación propone un estudio de acoplamiento molecular de las toxinas Pir A y Pir B de *V. parahaemolyticus* con posibles ligandos inhibidores. Este enfoque busca identificar nuevos tratamientos alternativos para el manejo de la AHPND, lo que podría tener un impacto significativo en la acuicultura y la sanidad animal.

## REFERENCIAS

- Almanza, N. (2018). Interacción de la toxina binaria Pir AB de *Vibrio parahaemolyticus* con proteínas hepatopancreáticas de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Tesis de grado de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), La Paz, Baja California.
- Barrantes, E. (2023). Efectos de la bacteria patógena *Vibrio parahaemolyticus* en camarones (*Litopenaeus vannamei*) de cultivo y en la salud del consumidor. *Ciencias Naturales*, (23)40. DOI: <https://orcid.org/0000-0002-7522-6253>
- Equisoain, M. (2021). Cribado *in silico* de una librería de nutraceuticos para identificar posibles tratamientos del virus SARS-CoV-2 mediante docking molecular. Tesis de grado de maestría. Universitat Oberta de Catalunya, España.
- González-Díaz, H., Prado-Prado, F., García-Mera, X., & Santana, L. (2010). Acoplamiento molecular y diseño de fármacos. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 6(2), 44-60.
- Morales-Covarrubias, M. S., Bolan-Mejía, M. del C., Gracia-Aguilar, N., Isern-Subich, M.-M., Hernández-González, G., & Nuez-Ortín, W. G. (2022). Eficacia de BACTI-NIL®AQUA en infección experimental con *Vibrio parahaemolyticus* en juveniles de *Litopenaeus vannamei*. *Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias De La Universidad Del Zulia*, 32, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e32148>

- Osuna Amarillas, P. S., Miranda Baeza, A., Rivas Vega, M. E., Esquer Miranda, E., García Bedoya, D., & Buitimea Valdez, R. (2016). COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS DE MACROALGA *Gracilaria vermiculophylla* SOBRE *Vibrio parahaemolyticus*. *Biotecnia*, 18(2), 27–31. <https://doi.org/10.18633/bt.v18i2.281>
- Pascal, E., Portillo, E., Méndez, A., & Vásquez, H. (2023). Relationship between Infection Caused by the Apicomplex Protozoan *Nematopsis* sp and the Weight of White Shrimp *Litopenaeus vannamei* in a Cultivation System. *Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 4(10), pp.1405-1411. DOI: <https://doi.org/10.37871/jbres1810>
- Parra Pérez, A. M. (2021). Integración en Scipion del software de docking molecular Rosetta DARC para su aplicación en Interacción proteína-proteína. Trabajo de grado de maestría. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/http://i2pc.es/coss/Articulos/Parra2021.pdf>
- Protein Data Bank-RCBS PDB (2015). Crystal structure of PirB. DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb3X0U/pdb>
- Protein Data Bank-RCBS PDB (2014). Crystal structure of PirA. DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb3X0T/pdb>
- Sirikharin, R., Taengchaiyaphum, S., et al. (2015). Characterization and PCR Detection Of Binary, Pir-Like Toxins from *Vibrio parahaemolyticus* Isolates that Cause Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) in Shrimp. *Plos One*, 10(5) DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126987>
- Trujillo, E. (2016). Neutralización de las toxinas PirA y PirB de *Vibrio parahaemolyticus* asociado a AHPND con fragmentos de anticuerpos desplegados en fagos. Tesis de grado de maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California.

Varela-Mejías, A. V., Peña-Navarro, N., Aranguren-Caro, L. F. (2018). Necrosis aguda del hepatopáncreas: una revisión de la enfermedad en *Penaeus vannamei*. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3). DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i3.27788>

Varela, A., y N. Peña. (2015). Hepatopancreatitis necrotizante asociada al Fenómeno del Niño, en cultivos de camarones del Golfo de Nicoya. *Repertorio Científico* 18(1):29-34.

Hernández G, Cristina, Ulloa P, Juanita, Vergara O, José Antonio, Espejo T, Romilio, & Cabello C, Felipe. (2005). Infecciones por *Vibrio parahaemolyticus* e intoxicaciones por algas: problemas emergentes de salud pública en Chile. *Revista médica de Chile*, 133(9), 1081-1088. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-988720050009000013>

Morales-Covarrubias, M. S., Bolan-Mejía, M. del C., Gracia-Aguilar, N., Isern-Subich, M.-M., Hernández-González, G., & Nuez-Ortín, W. G. (2022). Eficacia de BACTI-NIL®AQUA en infección experimental con *Vibrio parahaemolyticus* en juveniles de *Litopenaeus vannamei*. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 32, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e32148>

Moreira, J. M., Oliveira, H. B., de Lima, L. F., Bottaro, M., & Costa, H. B. (2020). DockThor: una plataforma de acoplamiento molecular para estudios de proteínas y ligandos. *Journal of Molecular Modeling*, 27(11), 347-354.



# Identificación molecular de Micobacterias no tuberculosas en Tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* cultivadas en la Amazonía Ecuatoriana

Molecular identification of nontuberculous mycobacteria in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in the Ecuadorian Amazon

Y. Rojas<sup>1</sup>, J. Guarango Veletanga<sup>1</sup>,  
A. Castro Cevallos<sup>1</sup>, Y. Ledesma<sup>2</sup>,  
J. H. de Waard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Regional Amazónica Ikiam,  
Tena, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad de las Américas, UDLA,  
Quito, Ecuador.

Correspondencia Y. Rojas   yeimy.rojas@ikiam.edu.ec

Palabras clave |  
*Mycobacterium* spp.,  
micobacteriosis,  
zoonosis,  
acuicultura,  
piscicultura.

**RESUMEN** | Las micobacterias no tuberculosas desencadenan infecciones graves en peces que afectan la producción en la acuicultura y piscicultura. En este estudio, se investigó la presencia de *Mycobacterium* spp. en *Oreochromis niloticus* (tilapia del Nilo), especie ampliamente cultivada y comercializada en Napo. Se estudiaron un total de 206 muestras de peces que fueron adquiridas de ocho diferentes estanques piscícolas ubicados dentro del cantón Tena. No se observaron signos clínicos de micobacteriosis, sin embargo, mediante tinción de Ziehl-Neelsen se obtuvieron 27 cultivos positivos que reflejaban la presencia de bacilos ácido alcohol resistentes. Mediante amplificación y secuenciación del gen de mantenimiento 16S rRNA, ocho micobacterias fueron identificadas como estrechamente relacionadas a *Mycolicibacterium septicum*, cinco relacionadas a *Mycobacterium paragordoniae*/*Mycobacterium gordoniae*, tres a *Mycolicibacterium septicum*/*Mycolicibacterium porcinum*, dos relacionadas

a *Mycobacterium seoulense*; mientras que *Mycolicibacterium llatzerense*, *Mycobacteroides immunogenum*, *Mycolicibacterium senegalense*/*Mycolicibacterium farcinogenes*, *Mycolicibacterium vaccae*/*Mycolicibacterium vanbaalenii*, *Mycolicibacterium insubricum*, y *Mycolicibacterium fortuitum*, produjeron un solo aislado cada uno. Este estudio representa el primer reporte de *Mycobacterium* en granjas de cultivo de tilapias del Nilo de la Amazonía ecuatoriana.

**Keywords |**  
*Mycobacterium* spp.,  
 mycobacteriosis,  
 zoonosis,  
 aquaculture,  
 fish farming.

**ABSTRACT |** Non-tuberculous mycobacteria trigger severe infections in fish, negatively impacting production in aquaculture and fish farming. In this study, the presence of *Mycobacterium* spp. in *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia), a widely cultivated and commercially traded species in Napo, was investigated. A total of 206 fish samples were collected from eight different fishponds located within the Tena canton. No clinical signs of mycobacteriosis were observed; however, 27 positive cultures reflecting the presence of acid-alcohol-resistant bacilli were obtained through Ziehl-Neelsen staining. Through amplification and sequencing of the 16S rRNA housekeeping gene, eight mycobacteria were identified as closely related to *Mycolicibacterium septicum*, five related to *Mycobacterium paragordoniae*/*Mycobacterium gordoniae*, three to *Mycolicibacterium septicum*/*Mycolicibacterium porcinum*, two related to *Mycobacterium seoulense*, while *Mycolicibacterium llatzerense*, *Mycobacteroides immunogenum*, *Mycolicibacterium senegalense*/*Mycolicibacterium farcinogenes*, *Mycolicibacterium vaccae*/*Mycolicibacterium vanbaalenii*, *Mycolicibacterium insubricum*, and *Mycolicibacterium fortuitum* yielded a single isolate each. This study represents the first report of *Mycobacterium* in Nile tilapia farms in the Ecuadorian Amazon.



## INTRODUCCIÓN

La micobacteriosis afecta a más de 200 especies de peces y puede ser adquirida a través de la ingestión de alimentos contaminados, el canibalismo de peces enfermos, la inoculación a través de lesiones y el consumo de desechos ambientales (Decostere *et al.*, 2004; Jacobs *et al.*, 2009). Cuando la infección se activa se visualizan signos clínicos como pérdida de escamas, ulceración dérmica, cambios pigmentarios, comportamiento anormal, emaciación y ascitis (Gauthier & Rhodes, 2009). Internamente puede producir nódulos de color blanco que se desarrollan comúnmente en los riñones, corazón, hígado y bazo (Austin & Austin, 2016). Debido a la gravedad de estos síntomas la mortalidad puede alcanzar el 100% (Delghandi *et al.*, 2020). No obstante, la micobacteriosis puede tardar varios años en manifestarse y pasar de un estado asintomático a la enfermedad clínica, en lo cual, las condiciones ambientales y el estrés son factores importantes en el desarrollo de la infección (Jacobs *et al.*, 2009; Slany *et al.*, 2014). Las especies más reportadas en infecciones en peces son *Mycobacterium marinum*, *Mycobacterium fortuitum*, *Mycobacterium chelonae* y *Mycobacterium goodii*, las cuales, también han demostrado ser potencialmente riesgosas en humanos debido a su naturaleza zoonótica (Novotny *et al.*, 2004).

Los reportes de infecciones micobacterianas han incrementado en la producción controlada de especies como el esturión, lenguado, gobio barbero, salmón y la tilapia del Nilo (Aro *et al.*, 2014; Lara-Flores *et al.*, 2014; Romano *et al.*, 2012; D. F. Zhang *et al.*, 2015; Q. Zhang *et al.*, 2019). Dentro de este grupo, *Oreochromis niloticus*, comúnmente conocida como tilapia del Nilo, destaca como el tercer cultivo principal en la acuicultura a nivel mundial, con una producción registrada de 4,407.2 toneladas en el año 2020 (FAO, 2022). Para la Amazonía ecuatoriana, la piscicultura de *O. niloticus* representa una de las principales actividades que provee de alimentación y sustento económico a las poblaciones nativas (Ramírez *et al.*, 2021). No obstante, en Ecuador no se ha reportado datos relevantes sobre las especies de MNT que circulan en la industria acuícola del país.

Dada la importancia económica y los posibles problemas de salud pública de la micobacteriosis en cultivos de peces de interés comercial, los reportes sobre las especies causantes de micobacteriosis de la tilapia del Nilo son de gran importancia a nivel nacional. El presente estudio, identifica MNT en *O. niloticus* criadas por piscicultura en la provincia de Napo, cantón Tena. La identificación se realiza utilizando técnicas de cultivo selectivos de micobacterias, tinción de Ziehl-Neelsen, amplificación del gen *16S rRNA* y posterior análisis de secuencias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Manejo de muestras

Las tilapias, de un peso aproximado de 400 g fueron compradas entre septiembre de 2022 y abril de 2023 de ocho diferentes granjas de cultivo ubicadas en las parroquias Tena, Muyuna, Pano, y Puerto Napo del cantón Tena. Mediante un muestreo de conveniencia se obtuvo un tamaño de muestra total de 103 tilapias. Los peces fueron colocados individualmente en bolsas herméticas de polipropileno y transportados en una hielera hasta el laboratorio de Biología Molecular Docencia de la Universidad Regional Amazónica Ikiam para ser procesados dentro de las 3 h posteriores a la recolección. De cada individuo, se tomaron aproximadamente 0.1 g de muestras de órganos internos (hígado, bazo y riñón) y se colocaron en un tubo con solución salina fisiológica estéril (SSFe). En un tubo aparte, se procesaron aproximadamente 0.1 g de las branquias en SSFe y en cada caso se maceraron las muestras hasta homogeneizarlas.

### Aislamiento y cultivo

Las muestras homogeneizadas fueron tratadas con dos métodos con la finalidad de disminuir la contaminación por bacterias de rápido crecimiento que compiten por los nutrientes del medio. El primer método se basó en el protocolo de Ambrosio *et al.* (2008), y en el segundo se aplicó una reforma del método de Petroff modificado por Brian y Baker (1968). La metodología aplicada se resume en la Figura 1.

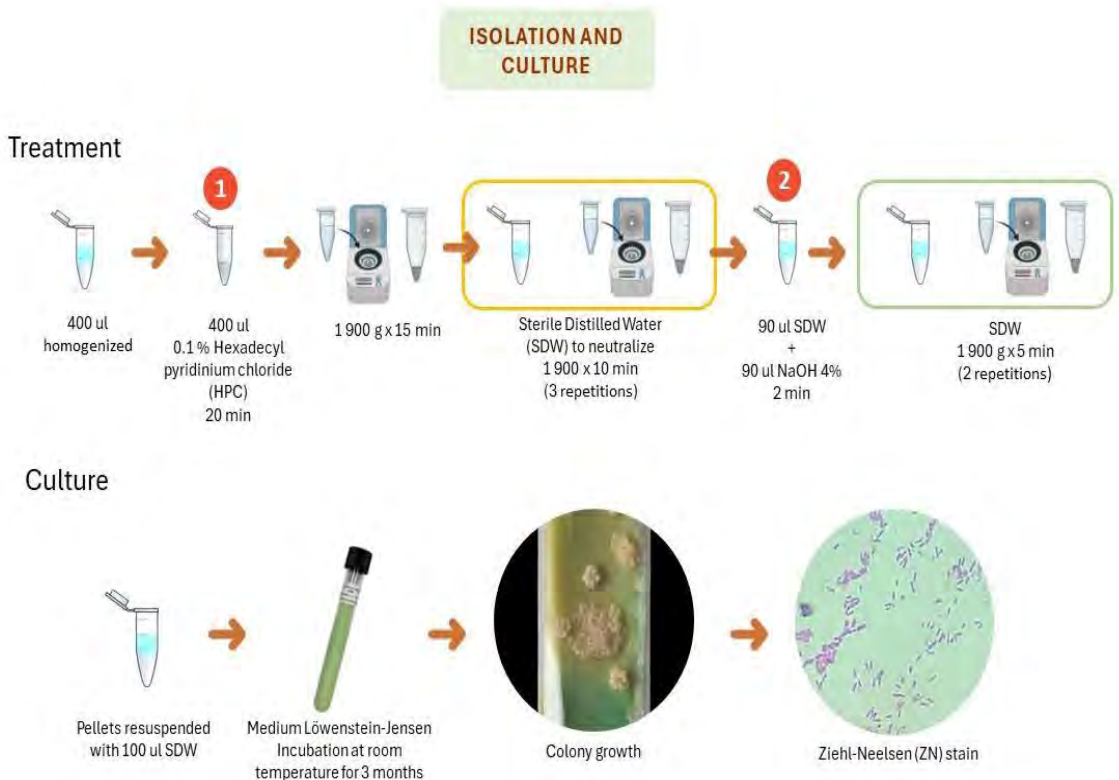


Figura 1. Esquema de los pasos empleados para el cultivo de MNT.

### Extracción de ADN y Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

Dos colonias fenotípicamente iguales fueron suspendidas en 0.5 ml de Buffer TE 1X. Seguido, estas se mezclaron con vórtex e incubaron en un termobloque a 100 ° C durante 8 min. Luego, la suspensión se centrifugó a 17.000 g durante 5 min y se transfirió 300 µL del sobrenadante a un tubo estéril (Koentjoro *et al.*, 2021; Ledesma *et al.*, 2022). El ADN obtenido en el sobrenadante se conservó a -20°C hasta el momento de la amplificación. La PCR se llevó a cabo en un termociclador ProFlex™ PCR System (Applied Biosystems™ 4484073), usando GoTaq® Flexi DNA Polymerase de Promega®. Las secuencias de los primers usados en la reacción se

describen en la Tabla 1. Las mezclas y condiciones de PCR se han descrito previamente por Hernandez et al. (1999), con la diferencia que en este trabajo se emplearon 5 µL de ADN molde en lugar de 1 µL. Los amplicones se visualizaron mediante electroforesis en un gel de agarosa al 1% y posteriormente fueron enviados al Departamento de Servicios de la Universidad de las Américas (Quito, Ecuador) para la secuenciación. Los productos se secuenciaron con el método de Sanger y se examinaron con el analizador genético ABI 3500xL de Applied Biosystems.

**Tabla 1.** Descripción de *primers* para amplificación y secuenciación del gen 16S rRNA de las bacterias positivas a la tinción de ZN.

Gen	Primer	Secuencia	Nucleótidos	Temperatura de annealing	Referencia
16S	A1F (Forward)	5'-CTGGCTCAGGACGAACGCTG-3'	20-39	63 °C	(Cooksey et al., 2004)
	54R (Reverse)	5'-TCTAGTCTGCCCGTATCGCCC-3'	654-634		

### Análisis de secuencias

Las secuencias *forward* y *reverse* obtenidas del gen 16S rRNA se ensamblaron y las secuencias consenso se editaron utilizando la plataforma de Análisis de Genética Evolutiva Molecular (MEGA) versión 11 (Tamura et al., 2021). Para la identificación de especies se utilizó Megablast con la base de datos Nucleotide collection (nt) de la plataforma del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) (Z. Zhang et al., 2000).

## RESULTADOS

De los 103 peces procesados, ninguno presentó signos de micobacteriosis, sin embargo, en cuatro de ellos se observó palidez en hígado y branquias. La cantidad total de cultivos positivos a ZN se detallan en la Figura 2.

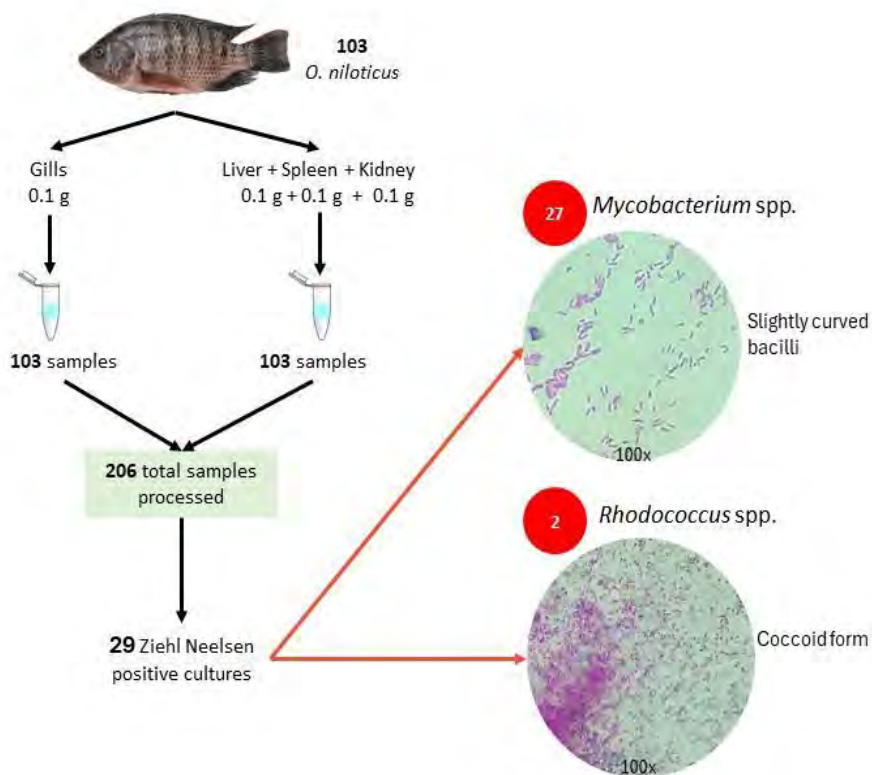


Figura 2. Esquema de los cultivos positivos totales a ZN.

Los detalles fenotípicos de los aislamientos de micobacterias recolectadas en este estudio se presentan en la Tabla 2. De los 29 aislados totales, 26 se secuenciaron correctamente para el gen *16S rRNA* mientras que los 3 aislados restantes presentaron cromatogramas con alto ruido. Las dos cepas con forma cocoide se identificaron como *Rhodococcus* sp. Las colonias SR-18, SR-21, SR-23, GC-44, GC-47 y GC-49 se clasificaron como MRC y las demás se clasificaron como MLC. Dentro del grupo de lento crecimiento, siete colonias (LG-6, MY-14, SR-19, SR-24, MY2x-57, MY2-63 y TA-95b) se clasificaron como escotocromógenas, debido a que desarrollaron un color amarillo anaranjado en la incubación oscura.

Tabla 2. Detalles de las colonias positivas a tinción de ZN aisladas en órganos de *O. niloticus*.

Fecha de muestreo	Granja* n = peces totales recolectados	ID pez <sup>f</sup>	Código colonia	Días de crecimiento	Especie identificada	% Identidad BLAST
19/09/2022	G1	6A	LG-6 <sup>□</sup>	63	<i>M. seoulense</i>	99.79
09/02/2023	n = 22	69A	LG-69	17	<i>M. paragordoniae</i> / <i>M. gordoniae</i>	100
04/10/2022	G2 n = 10	12A	MY-12	14	<i>M. septicum</i>	100
		14A	MY-14 <sup>□</sup>	36	<i>M. paragordoniae</i> / <i>M. gordoniae</i>	100
17/10/2022	G3 n = 10	18A	SR-18	7	<i>M. septicum</i>	100
		19A	SR-19 <sup>□</sup>	35	<i>M. paragordoniae</i> / <i>M. gordoniae</i>	100
		21A	SR-21	7	<i>M. septicum</i>	100
		23A	SR-23	7	<i>M. septicum</i>	100
		24A	SR-24 <sup>□</sup>	40	<i>M. paragordoniae</i> / <i>M. gordoniae</i>	100
08/11/2022	G4 n = 16	27A	SR-27	35	-----	Secuencia no legible
		30A	SR2-30	13	<i>M. septicum</i>	99.78
		32A	SR2p-32	21	<i>M. septicum</i> / <i>M. porcinum</i>	100
		34A	SR2-34	13	<i>M. septicum</i> / <i>M. porcinum</i>	100
29/11/2022	G5 n = 10	44A	GC-44	7	<i>M. llatzerense</i>	100
		44B	GC-44b	42	<i>Rhodococcus</i> sp.	100
		46B	GC-46b	42	<i>Rhodococcus</i> sp.	100
		47A	GC-47	7	<i>M. septicum</i> / <i>M. porcinum</i>	99.78
		49A	GC-49	7	<i>M. immunogenum</i>	100
10/10/2022	G6 n = 10	57A	MY2-57	30	<i>M. septicum</i>	99.78
			MY2x-57 <sup>□</sup>	30	<i>M. paragordoniae</i> / <i>M. gordoniae</i>	99.79
		58A	MY2-58	14	<i>M. septicum</i>	100
			MY2x-58	14	<i>M. senegalense</i> / <i>M. farcinogenes</i>	99.79
		62A	MY2-62	20	<i>M. septicum</i>	100
23/03/2023	G7 n = 10	63A	MY2-63 <sup>□</sup>	42	<i>M. seoulense</i>	99.80
		95B	TA-95b <sup>□</sup>	14	<i>M. vaccae</i> / <i>M. vanbaalenii</i>	98.50
		97A	TA-97	6	-----	Secuencia no legible
		98A	TA-98	14	-----	Secuencia no legible
		102A	TA-102	14	<i>M. insubricum</i>	100
05/04/2023	G8 n = 15	103A	TA-103	22	<i>M. fortuitum</i>	100
		-----	-----	-----	-----	-----
		-----	-----	-----	-----	-----

\*Granja G1, Comunidad de Lagarto Cocha (LG); granjas G2 y G6, ubicadas en Muyuna (MY) y granjas G3 y G4, ubicadas en la Comunidad Las Palmas-Sapo Rumi (SR). Granja G5, Comunidad Guinea Chimbana (GC); granja G7, ubicada en Tena (TA) y granja G8 ubicada en Puerto Napo (PN). Las ubicaciones geográficas se presentan en la Figura 3.

†Las ID con letra A, refieren al uso de las branquias para el aislamiento; las ID con letra B, refieren al uso de los homogeneizados de hígado, bazo y riñón para el aislamiento.

□ Colonias escotocromógenas.

## DISCUSIÓN

Es importante resaltar que del 100% de aislados micobacterianos (n=27), el 96.30% (n=26) fueron recuperados a partir de las branquias y no de los homogeneizados de hígado, bazo y riñón. La piel y las branquias están en constante contacto con el agua del cultivo y sus microorganismos, por lo tanto, la carga microbiana en estos tejidos es alta (Guivier *et al.*, 2020). Por esta razón, para un diagnóstico adecuado de micobacteriosis en peces, debe evitarse el aislamiento a partir de homogeneizados que incluyan piel, branquias o el pescado entero. Las micobacterias aisladas en cultivos de especies comerciales por Sevim *et al.* (2015), y Gcebe *et al.* (2018), podrían haber estado presentes de manera pasiva en los tejidos donde fueron recuperadas. Sin embargo, este tipo de estudios ayudan a pronosticar el desarrollo de micobacteriosis y, de esta manera, evitar la generación de pérdidas económicas en la piscicultura por la destrucción total de los cultivos afectados. La detección de *Rhodococcus* sp. en los órganos de las tilapias concuerda con investigaciones anteriores que han establecido al género *Rhodococcus* como parte del microbiota intestinal benéfico de peces, así como su potencial uso como probiótico en la acuicultura (Ponce-Granillo *et al.*, 2016).

Las especies *M. paragordoniae* y *M. gordonae* han sido reportadas en brotes de micobacteriosis en cultivos de carpas koi, en esturiones y en peces guppy, en donde se visualizaron granulomas característicos de la infección (Machida *et al.*, 2021; Sakai *et al.*, 2005; D. F. Zhang *et al.*, 2015). *M. fortuitum* es la especie mayormente relacionada con infecciones micobacterianas, se ha detectado en peces ornamentales (Pate *et al.*, 2005), en granjas de cultivo de lisa blanca (Perez *et al.*, 2001), así como, en granjas de cultivo de tilapia del Nilo en México, en donde *M. fortuitum* se la asoció como una de las principales especies en producir mortalidad (Lara-Flores *et al.*, 2014). Un total de cinco aislados de *M. paragordoniae*/*M. gordonae* fueron recuperados de cuatro de las siete diferentes localidades muestreadas, y, pese a que no se llegó a visualizar ninguna anomalía,

no se debe descartar la presencia de la infección, pues, se conoce que la micobacteriosis puede no producir signos clínicos (Gauthier & Rhodes, 2009). De igual manera, aunque se obtuvo un solo aislado, *M. fortuitum* representa un riesgo económico para los piscicultores de la zona por los reportes previamente mencionados de la alta mortalidad asociada a la formación de granulomas en órganos internos durante una infección crónica (Johansen & Kremer, 2020; Talaat et al., 1999). Se debe tener presente que las condiciones ambientales y el estrés ocasionado por la mala calidad del agua o la alta densidad de cultivo (comunes en la piscicultura) son factores importantes en la activación de la enfermedad (Delghandi et al., 2020). En la literatura, no se ha encontrado reportes de micobacteriosis en peces por *M. septicum*, *M. llatzerense*, *M. seoulense*, *M. immunogenum*, *M. porcinum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes*, *M. insubricum*, *M. vaccae*/*M. vanbaalenii*.

Las MNT identificadas en los cultivos de *O. niloticus*, también representan un riesgo para la salud pública por el potencial zoonótico de algunas especies. Las infecciones pueden producirse por la exposición de una herida abierta a fuentes de agua contaminada o por lesiones causadas por aletas de pescados contaminados (Bhambri et al., 2009). Se conoce que *M. gordonae*, *M. porcinum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes* y *M. fortuitum* pueden causar lesiones cutáneas dolorosas como nódulos violáceos, abscesos, celulitis o foliculitis con diferentes grados de riesgo, en personas inmunocompetentes e inmunodeprimidas (Brown-Elliott et al., 2011; Chang et al., 2021; Cheng & Lee, 2022; Chung et al., 2018; Sethi et al., 2014), mientras que *M. llatzerense* solo se ha reportado en pacientes inmunocomprometidos (Torosian et al., 2023). Por esta razón, la manipulación de los peces en los cultivos y el pescado crudo, debe realizarse usando medidas de protección. *M. insubricum* ha sido aislado de muestras de esputo, no obstante, todos los aislados demostraron poca importancia clínica (Tortoli et al., 2009). Mientras tanto, *M. paragordonae*, *M. septicum*, *M. llatzerense*, *M. seoulense*, *M. immunogenum*, *M. porcinum*, y *M. fortuitum* pueden producir infecciones pulmonares importantes (Go et al., 2020; Li et al., 2022; Park et al., 2008; Sungkapalee et al., 2012; Teixeira et al., 2013). Sin embargo, el riesgo de contagio para los trabajadores del sector acuícola es bajo, debido a que la infección pulmonar se desarrolla por la ingesta del agua contaminada (Whiley et al., 2012). De igual manera, las MNT aisladas de *O. niloticus* no plantean riesgos importantes en términos de seguridad alimentaria, dado que estos pescados son sometidos a



cocción antes de ser consumidos (Sevim *et al.*, 2015). Por otro lado, aunque la mayoría de micobacterias aisladas en este estudio son consideradas micobacterias ambientales, la búsqueda y el hallazgo de nuevas MNT puede conllevar al descubrimiento de especies benéficas estimulantes del sistema inmune y para el desarrollo de tratamientos de enfermedades. Un ejemplo de esto es *M. vaccae*, que se está estudiando principalmente para su uso como agente inmunoterapéutico en el tratamiento de la tuberculosis, el cáncer, el asma, la dermatitis atópica y la psoriasis (Balagon *et al.*, 2000; Hadley *et al.*, 2005; Jiang *et al.*, 2021; Stanford *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2011). Del mismo modo, estudios realizados en ratas mencionan el potencial de *M. vaccae* en el microbiota intestinal para reducir el estrés mejorando la inmunomodulación en el sistema nervioso central y estimulando la producción de serotonina (Fox *et al.*, 2017; Frank *et al.*, 2018; Matthews & Jenks, 2013).

La identificación de las colonias que presentaron un porcentaje de BLAST alto (98-100%) con dos especies, deben aclararse en estudios a futuro. Aunque el análisis del gen *16S rRNA* es ampliamente utilizado en la detección de micobacterias, la alta conservación de este gen limita su utilidad para diferenciar especies estrechamente relacionadas (Gauthier & Rhodes, 2009). Por ejemplo, *M. paragordoniae* y *M. gordonae* comparten un 99% de homología de secuencia del gen *16S rRNA* (Kim *et al.*, 2014), de igual manera, *M. septicum* con *M. porcinum* y *M. senegalense* con *M. farcinogenes* están estrechamente relacionados (Adékambi & Drancourt, 2004). Los objetivos genéticos para la detección molecular de micobacterias que pueden ser usados para la determinación específica a nivel de especie son la proteína de choque térmico 65 (*hsp65*) y los genes de la subunidad B de la ARN polimerasa (*rpoB*) (D. F. Zhang *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

Se aisló con éxito una amplia gama de especies de NTM a partir de tilapias. Una parte importante de estos aislados se originó en la piel y las branquias, que interactúan regularmente con el agua. Es esencial tener en cuenta que la presencia de micobacterias en estos órganos no necesariamente indica enfermedad, sino que sirve como un medio para monitorear la presencia de NTM en el medio acuático. Además, resulta especialmente preocupante el aislamiento

de varias especies con potencial zoonótico, ya que estas micobacterias pueden suponer un riesgo para la salud, especialmente para las personas inmunodeprimidas que manipulan peces o entran en contacto con el agua de la piscifactoría.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado en un 70% por el Laboratorio de referencia de Tuberculosis del Instituto de Biomedicina "Dr. Jacinto Convit", Hospital Vargas - Facultad de Medicina de la Universidad Central de Venezuela. El otro 30% fue por autofinanciamiento.

## REFERENCIAS

- Adékambi, T., & Drancourt, M. (2004). Dissection of phylogenetic relationships among 19 rapidly growing *Mycobacterium* species by 16S rRNA, hsp65, sodA, recA and rpoB gene sequencing. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(6), 2095–2105. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63094-0>
- Ambrosio, S. R., de Deus Oliveira, E. M., Rodriguez, C. A., Ferreira Neto, J. S., & Amaku, M. (2008). Comparison of three decontamination methods for *Mycobacterium bovis* isolation. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39(2), 241–244. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000200008>
- Aro, L., Correa, K., Martínez, A., Ildefonso, R., & Yáñez, J. M. (2014). Characterization of *Mycobacterium salmoniphilum* as causal agent of mycobacteriosis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., from a freshwater recirculation system. *Journal of Fish Diseases*, 37(4), 341–348. <https://doi.org/10.1111/jfd.12108>
- Austin, B., & Austin, D. A. (2016). *Bacterial Fish Pathogens (Sixth)*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
- Balagon, M. V., Walsh, D. S., Tan, P. L., Cellona, R. V., Abalos, R. M., Tan, E. V., Fajardo, T. T., Watson, J. D., & Walsh, G. P. (2000). Improvement in psoriasis after intradermal administration of heat-killed *Mycobacterium vaccae*. *International*

Journal of Dermatology, 39(1), 51–58. <https://doi.org/10.1046/j.1365-4362.2000.00862.x>

Bhambri, S., Bhambri, A., & Del Rosso, J. Q. (2009). Atypical Mycobacterial Cutaneous Infections. *Dermatologic Clinics*, 27(1), 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.det.2008.07.009>

Brian, A., & Baker, F. (1968). *Mycobacteria* Butterworths & Co. Publishers.

Brown-Elliott, B. A., Wallace, R. J., Tichindelean, C., Sarria, J. C., McNulty, S., Vasireddy, R., Bridge, L., Mayhall, C. G., Turenne, C., & Loeffelholz, M. (2011). Five-Year Outbreak of Community- and Hospital-Acquired *Mycobacterium porcinum* Infections Related to Public Water Supplies. *Journal of Clinical Microbiology*, 49(12), 4231–4238. <https://doi.org/10.1128/JCM.05122-11>

Chang, H.-Y., Tsai, W.-C., Lee, T.-F., & Sheng, W.-H. (2021). *Mycobacterium gordonae* infection in immunocompromised and immunocompetent hosts: A series of seven cases and literature review. *Journal of the Formosan Medical Association*, 120(1), 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2020.06.029>

Cheng, A.-Y., & Lee, C.-H. (2022). Skin infection by *Mycobacterium farcinogenes-senegalense* group in an immunocompetent patient: a case report. *BMC Infectious Diseases*, 22(1), 445. <https://doi.org/10.1186/s12879-022-07409-z>

Chung, J., Ince, D., Ford, B. A., & Wanat, K. A. (2018). Cutaneous Infections Due to Nontuberculosis Mycobacterium: Recognition and Management. *American Journal of Clinical Dermatology*, 19(6), 867–878. <https://doi.org/10.1007/s40257-018-0382-5>

Cooksey, R. C., de Waard, J. H., Yakrus, M. A., Rivera, I., Chopite, M., Toney, S. R., Morlock, G. P., & Butler, W. R. (2004). *Mycobacterium cosmeticum* sp. nov., a novel rapidly growing species isolated from a cosmetic infection and from a nail salon. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(6), 2385–2391. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63238-0>

- Decostere, A., Hermans, K., & Haesebrouck, F. (2004). Piscine mycobacteriosis: a literature review covering the agent and the disease it causes in fish and humans. *Veterinary Microbiology*, 99(3–4), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2003.07.011>
- Delghandi, M. R., El-Matbouli, M., & Menanteau-Ledouble, S. (2020). Mycobacteriosis and Infections with Non-tuberculous Mycobacteria in Aquatic Organisms: A Review. *Microorganisms*, 8(9), 1368. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091368>
- Dudhagara, D. R., & Dave, B. P. (2018). Mycobacterium as Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Degrader. En *Mycobacterium - Research and Development*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73546>
- FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. En *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Fox, J. H., Hassell, J. E., Siebler, P. H., Arnold, M. R., Lamb, A. K., Smith, D. G., Day, H. E. W., Smith, T. M., Simmerman, E. M., Outzen, A. A., Holmes, K. S., Brazell, C. J., & Lowry, C. A. (2017). Preimmunization with a heat-killed preparation of *Mycobacterium vaccae* enhances fear extinction in the fear-potentiated startle paradigm. *Brain, Behavior, and Immunity*, 66, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2017.08.014>
- Frank, M. G., Fonken, L. K., Dolzani, S. D., Annis, J. L., Siebler, P. H., Schmidt, D., Watkins, L. R., Maier, S. F., & Lowry, C. A. (2018). Immunization with *Mycobacterium vaccae* induces an anti-inflammatory milieu in the CNS: Attenuation of stress-induced microglial priming, alarmins and anxiety-like behavior. *Brain, Behavior, and Immunity*, 73, 352–363. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.05.020>
- Gauthier, D., & Rhodes, M. (2009). Mycobacteriosis in fishes: A review. *The Veterinary Journal*, 180(1), 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.05.012>

- Gcebe, N., Michel, A. L., & Hlokwe, T. M. (2018). Non-tuberculous Mycobacterium species causing mycobacteriosis in farmed aquatic animals of South Africa. *BMC Microbiology*, 18(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1177-9>
- Go, J. R., Wengenack, N. L., Abu Saleh, O. M., Corsini Campioli, C., Deml, S. M., & Wilson, J. W. (2020). Mycobacterium septicum: a 6-Year Clinical Experience from a Tertiary Hospital and Reference Laboratory. *Journal of Clinical Microbiology*, 58(12), e02091-20. <https://doi.org/10.1128/JCM.02091-20>
- Guivier, E., Pech, N., Chappaz, R., & Gilles, A. (2020). Microbiota associated with the skin, gills, and gut of the fish *Parachondrostoma toxostoma* from the Rhône basin. *Freshwater Biology*, 65(3), 446–459. <https://doi.org/10.1111/fwb.13437>
- Hadley, E. A., Smillie, F. I., Turner, M. A., Custovic, A., Woodcock, A., & Arkwright, P. D. (2005). Effect of Mycobacterium vaccae on cytokine responses in children with atopic dermatitis. *Clinical and Experimental Immunology*, 140(1), 101–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.2005.02743.x>
- Hernandez, S. M., Morlock, G. P., Butler, W. R., Crawford, J. T., & Cooksey, R. C. (1999). Identification of Mycobacterium Species by PCR-Restriction Fragment Length Polymorphism Analyses Using Fluorescence Capillary Electrophoresis. *Journal of Clinical Microbiology*, 37(11), 3688–3692. <https://doi.org/10.1128/JCM.37.11.3688-3692.1999>
- Jacobs, J. M., Stine, C. B., Baya, A. M., & Kent, M. L. (2009). A review of mycobacteriosis in marine fish. *Journal of Fish Diseases*, 32(2), 119–130. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.01016.x>
- Jiang, X.-H., Li, C.-Q., Feng, G.-Y., Luo, M.-J., Sun, Q.-X., & Huang, J. (2021). Mycobacterium vaccae nebulization protects Balb/c mice against bronchial asthma through neural mechanisms. *Journal of Asthma*, 58(8), 1003–1012. <https://doi.org/10.1080/02770903.2020.1761381>
- Johansen, M. D., & Kremer, L. (2020). CFTR Depletion Confers Hypersusceptibility to Mycobacterium fortuitum in a Zebrafish Model. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.00357>

- Kim, B.-J., Hong, S.-H., Kook, Y.-H., & Kim, B.-J. (2014). *Mycobacterium paragordonae* sp. nov., a slowly growing, scotochromogenic species closely related to *Mycobacterium gordonae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt\_1), 39–45. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.051540-0>
- Koentjoro, M. P., Donastin, A., & Prasetyo, E. N. (2021). A simple method of DNA extraction of *Mycobacterium tuberculosis* from sputum cultures for sequencing analysis. *African journal of infectious diseases*, 15(2 Suppl), 19–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.21010/ajidv15i2S:2>
- Lara-Flores, M., Aguirre-Guzman, G., Balan-Zetina, S. B., Sonda-Santos, K. Y., & Zapata, A. A. (2014). Identification of *Mycobacterium* Agent Isolated from Tissues of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14(2). [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14\\_2\\_29](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_2_29)
- Ledesma, Y., Echeverría, G., Claro-Almea, F. E., Silva, D., Guerrero-Freire, S., Rojas, Y., Bastidas-Caldes, C., Navarro, J. C., & de Waard, J. H. (2022). The Re-Identification of Previously Unidentifiable Clinical Non-Tuberculous *Mycobacterial* Isolates Shows Great Species Diversity and the Presence of Other Acid-Fast Genera. *Pathogens*, 11(10), 1159. <https://doi.org/10.3390/pathogens11101159>
- Li, Y., Zhang, W., Zhao, J., Lai, W., Zhao, Y., Li, Y., & Ou, J. (2022). *Mycobacterium paragordonae* is an emerging pathogen in human pulmonary disease: clinical features, antimicrobial susceptibility testing and outcomes. *Emerging Microbes & Infections*, 11(1), 1973–1981. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2103453>
- Machida, Y., Tang, B. C. C., Yamada, M., Sato, S., Nakajima, K., Matoyama, H., Kishihara, T., Endo, M., Sano, M., & Kato, G. (2021). *Mycobacteriosis* in cultured koi carp *Cyprinus carpio* caused by *Mycobacterium paragordonae* and two *Mycolicibacterium* spp. *Aquaculture*, 539, 736656. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736656>

- Matthews, D. M., & Jenks, S. M. (2013). Ingestion of *Mycobacterium vaccae* decreases anxiety-related behavior and improves learning in mice. *Behavioural Processes*, 96, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.02.007>
- Novotny, L., Dvorska, L., Lorencova, A., Beran, V., & Pavlik, I. (2004). Fish: a potential source of bacterial pathogens for human beings. *Veterinarni Medicina*, 49(9), 343–358.
- Park, S., Suh, G. Y., Chung, M. P., Kim, H., Kwon, O. J., Lee, K. S., Lee, N. Y., & Koh, W.-J. (2008). Clinical significance of *Mycobacterium fortuitum* isolated from respiratory specimens. *Respiratory Medicine*, 102(3), 437–442. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2007.10.005>
- Pate, M., Jencic, V., Zelnir-Dovc, M., & Ocepek, M. (2005). Detection of mycobacteria in aquarium fish in Slovenia by culture and molecular methods. *Diseases of Aquatic Organisms*, 64, 29–35. <https://doi.org/10.3354/dao064029>
- Perez, A. T., Conroy, D. A., & Quiñones, L. (2001). Presence of acid-fast bacteria in wild and cultured silver mullets (*mugil curema* val., 1836) from Margarita Island, Venezuela. *Interciencia*, 26(6), 252–256. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33905705>
- Ponce-Granillo, C., Monroy-Dosta, M., Becerril-Cortés, D., Castro-Mejía, J., & Ocampo-Cervantes, J. (2016). Potential use in aquaculture of *Rhodococcus* sp. (Zopf, 1891). *Revista Digital E Bios*, 1(12), 1–6.
- Ramírez, P., Luna, M., Ruilova, M., Avila, J., Bucheli, S., & Castro, J. (2021). Análisis económico financiero y de sensibilidad de la producción de tilapia (*Oreochromis* spp.) En la región Amazónica Ecuatoriana. *Journal of Science and Research*, 6(3), 205–225.
- Romano, L. A., Sampaio, L. A., & Tesser, M. B. (2012). Micobacteriose por *Mycobacterium marinum* em “linguado” *Paralichthys orbignyanus* e em “barber goby” *Elacatinus figaro*: diagnóstico histopatológico e imunohistoquímico. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 32(3), 254–258. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012000300013>

- Sakai, M., Kono, T., Tassakka, A. C. M. A. R., Ponpornpisit, A., Areechon, N., Katagiri, T., Yoshida, T., & Endo, M. (2005). Characterization of a *Mycobacterium* sp. isolated from guppy *Poecilia reticulata*, using 16S ribosomal RNA and its internal transcribed spacer sequences. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 25(2), 64–69.
- Sethi, S., Arora, S., Gupta, V., & Kumar, S. (2014). Cutaneous *Mycobacterium fortuitum* infection: Successfully treated with amikacin and ofloxacin combination. *Indian Journal of Dermatology*, 59(4), 383–384. <https://doi.org/10.4103/0019-5154.135491>
- Sevim, P., Ozer, S., & Rad, F. (2015). First isolation of *Mycobacterium* spp. in *Mullus* spp. in Turkey. *Iranian journal of veterinary research*, 16(2), 144–149.
- Slany, M., Makovcova, J., Jezek, P., Bodnarova, M., & Pavlik, I. (2014). Relative prevalence of *Mycobacterium marinum* in fish collected from aquaria and natural freshwaters in central Europe. *Journal of Fish Diseases*, 37(6), 527–533. <https://doi.org/10.1111/jfd.12135>
- Stanford, J. L., Stanford, C. A., O'Brien, M. E. R., & Grange, J. M. (2008). Successful immunotherapy with *Mycobacterium vaccae* in the treatment of adenocarcinoma of the lung. *European Journal of Cancer*, 44(2), 224–227. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2007.08.021>
- Sungkapalee, T., Ellison, R. T., Brown-Elliott, B. A., Vasireddy, R., & Jr, R. J. W. (2012). Persistent *Mycobacterium seoulense* pulmonary disease. *En International Journal of Infectious Diseases* (Vol. 16, Número 1 Suppl, pp. e158–e316). *International Journal of Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2012.05.977>
- Talaat, A. M., Trucksis, M., Kane, A. S., & Reimschuessel, R. (1999). Pathogenicity of *Mycobacterium fortuitum* and *Mycobacterium smegmatis* to goldfish, *Carassius auratus*. *Veterinary Microbiology*, 66(2), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0378-1135\(99\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1135(99)00002-4)



- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Teixeira, L., Avery, R. K., Iseman, M., Arrossi, A. V., Harrington, S., Stephens, K., & Winans, C. G. (2013). *Mycobacterium* *llatzerense* Lung Infection in a Liver Transplant Recipient: Case Report and Review of the Literature. *American Journal of Transplantation*, 13(8), 2198–2200. <https://doi.org/10.1111/ajt.12318>
- Torosian, A., Ly, L., Murina, A., & Bitar, C. (2023). A case of cutaneous *Mycobacterium* *llatzerense*. *JAAD Case Reports*, 31, 53–55. <https://doi.org/10.1016/j.jdc.2022.11.005>
- Tortoli, E., Baruzzo, S., Hejdra, Y., Klenk, H.-P., Lauria, S., Mariottini, A., & van Ingen, J. (2009). *Mycobacterium* *insubricum* sp. nov. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMATIC AND EVOLUTIONARY MICROBIOLOGY*, 59(6), 1518–1523. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.003459-0>
- Whiley, H., Keegan, A., Giglio, S., & Bentham, R. (2012). *Mycobacterium* *avium* complex - the role of potable water in disease transmission. *Journal of Applied Microbiology*, 113(2), 223–232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05298.x>
- Yang, X.-Y., Chen, Q.-F., Li, Y.-P., & Wu, S.-M. (2011). *Mycobacterium* *vaccae* as Adjuvant Therapy to Anti-Tuberculosis Chemotherapy in Never-Treated Tuberculosis Patients: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 6(9), e23826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023826>
- Zhang, D. F., Ji, C., Zhang, X. J., Li, T. T., Li, A. H., & Gong, X. N. (2015). Mixed mycobacterial infections in farmed sturgeons. *Aquaculture Research*, 46(8), 1914–1923. <https://doi.org/10.1111/are.12346>
- Zhang, Q., Wang, X., Zhang, D., Long, M., Wu, Z., Feng, Y., Hao, J., Wang, S., Liao, Q., & Li, A. (2019). De novo Assembly and Analysis of Amur Sturgeon (*Acipenser schrenckii*) Transcriptome in Response to *Mycobacterium* *marinum* Infection to Identify Putative Genes Involved in Immunity. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(8), 1324–1334. <https://doi.org/10.4014/jmb.1903.03034>

Zhang, Z., Schwartz, S., Wagner, L., & Miller, W. (2000). A Greedy Algorithm for Aligning DNA Sequences. *Journal of Computational Biology*, 7(1–2), 203–214. <https://doi.org/10.1089/10665270050081478>



# Definición de un juego de SNPs para su implementación en el análisis de la diversidad genética como Indicador Operativo de Bienestar (OWI) en el marco de la gestión sostenible del cultivo de *Octopus vulgaris*

Definition of a set of SNPs for implementation in the analysis of genetic diversity as an Operational Welfare Indicator (OWI) within the framework of the sustainable management of *Octopus vulgaris* cultivation

Javier Quinteiro, Manuel Rey-Méndez  
Laboratorio de Sistemática Molecular (SISMOL). Departamento de Bioquímica y Biología Molecular Facultad de Biología/  
Instituto de Acuicultura de la Universidad de Santiago de Compostela  
CIBUS, Campus Vida. 15782-Santiago de Compostela,  
España.

Correspondencia Manuel Rey-Méndez  [manuel.rey.mendez@usc.es](mailto:manuel.rey.mendez@usc.es)

Palabras clave |  
Pulpo,  
*Octopus vulgaris*,  
cultivo,  
genotipado,  
SNPs.

RESUMEN | El pulpo (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) es una especie muy apreciada para consumo, cuya demanda debe satisfacerse con una pesca sostenible. Constituye un objetivo de interés para la acuicultura dados su rápido crecimiento y buena conversión del alimento, entre otras características favorables, aunque todavía no es un cultivo consolidado. Los análisis genéticos, tales como análisis de paternidad, detección de loci asociados a fenotipos de interés y la definición de linajes genéticos de reproductores, son aspectos de utilidad en la gestión del cultivo. Para ello se plantea el uso de secuenciación masiva de librerías genómicas generadas por metodología ddRAD. Ello conlleva la definición de juegos de SNPs aplicables al genotipado de reproductores en plantas de cultivo, monitorización de la reproducción, e implementación de un diagnóstico in situ con aplicación en la gestión rutinaria del cultivo. Un total de 226 SNPs de utilidad presentaron un alto potencial informativo.

A partir de estos sitios se recuperaron las regiones genómicas flanqueantes a los SNPs permitiendo el diseño, síntesis e implementación de unos sistemas de amplificación de las regiones que contienen los SNPs seleccionados. La implementación de un análisis de genotipado o parentesco, mediante PCR a tiempo real, con sondas TaqMan en multiplex podría representar una metodología muy eficiente en el ámbito del cultivo de *O. vulgaris*, sostenible y bajo los estándares de bienestar.

Keywords |  
Octopus,  
*Octopus vulgaris*,  
culture,  
genotyping,  
SNPs.

**ABSTRACT** | The octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) is a highly prized species for consumption, the demand for it must be satisfied by sustainable fishing. It is a target of interest for aquaculture due to its fast growth and good feed conversion, among other favourable characteristics, although it is not yet an established farming species. Genetic analysis, such as paternity analysis, detection of loci associated with phenotypes of interest and the definition of genetic lineages of broodstock, are useful aspects in the management of the culture. For this purpose, the use of massive sequencing of genomic libraries generated by ddRAD methodology is proposed. This involves the definition of SNP sets applicable to the genotyping of broodstock in culture farms, monitoring of reproduction, and implementation of an *in situ* diagnosis with application in the routine of breeding management. A total of 226 useful SNPs had a high informative power. From these sites, genomic regions flanking the SNPs were recovered, allowing the design, synthesis and implementation of amplification systems for the regions containing the selected SNPs. The implementation of a genotyping or parentage analysis by real-time PCR with TaqMan probes in multiplex would represent a very efficient methodology in the field of *O. vulgaris* cultivation, sustainable and under welfare standards.

## INTRODUCCIÓN

El pulpo (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) es una especie emblemática en la gastronomía gallega muy dependiente de la pesca. En los últimos años ha experimentado problemas de abastecimiento que han favorecido la importación de producto de los mercados africanos o americanos (Burgos-Vega & Rey-Méndez, 2023), confirmando su interés para la acuicultura dado su rápido crecimiento y buena conversión del alimento, entre otras características favorables. En España, se han efectuado experiencias de engorde en jaulas flotantes, fundamentalmente en las costas de Galicia, donde también se han llevado a cabo iniciativas a escala industrial (Rama-Villar et al., 1997; Luaces-Canosa y Rey-Méndez, 2001). La optimización de aspectos clave de su cultivo permitiría la transferencia de tecnologías y conocimientos al tejido productor y empresarial, y favorecería la sostenibilidad de la explotación de este valioso recurso para Galicia.

A pesar de los avances producidos en los últimos años, que han resuelto las mortalidades masivas que se producían en los primeros estadios de vida (Domingues y Tur, 2019), todavía no es un cultivo consolidado. Una vez resueltos los aspectos básicos del cultivo, la sostenibilidad del mismo pasa por la optimización y desarrollo de cinco aspectos fundamentales: 1) el conocimiento en profundidad de las necesidades nutricionales en estadios de paralarva; 2) el acceso a presas vivas cultivadas como dieta que evite la dependencia continua del medio marino; 3) el diagnóstico y control de la salud y el bienestar animal en cultivo, así como el conocimiento de su capacidad de defensa y memoria inmune que haga posible el desarrollo de futuros tratamientos; 4) el control sobre la calidad de puesta que asegure, mediante análisis de paternidad, diversidad genética de reproductores, y diseño de sistemas de estabulación adecuados de juveniles, un cultivo sostenible; y 5) la implementación y evaluación de indicadores operativos de bienestar. La demostración de la múltiple paternidad en *Octopus vulgaris* (Quinteiro et al., 2011) o la definición de su diferenciación poblacional en el Atlántico Norte (Quinteiro et al., 2020), muestran la aplicabilidad de resultados de estudios genéticos al cultivo.

Así, el estudio de la diversidad genética en el medio natural definirá los linajes que puedan aportar fenotipos de interés para el cultivo. Para ello, se plantea el uso de secuenciación masiva de librerías de fragmentos generados por metodología ddRAD. Ello conlleva la definición de juegos de SNPs aplicables al genotipado de reproductores en plantas de cultivo, monitorización de la reproducción, e implementación de un diagnóstico in situ con aplicación en la gestión rutinaria del cultivo sostenible y bajo los estándares de bienestar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades desarrolladas estuvieron dirigidas a la obtención de una batería de SNPs aplicables al genotipado de reproductores en plantas de cultivo, a la monitorización de la reproducción y al diagnóstico in situ con aplicación en la gestión rutinaria del cultivo. La primera actividad (Figura 1) se centró en la obtención de una biblioteca genómica de fragmentos ddRAD (Peterson *et al.*, 2012), partiendo de muestras de ADN ya disponibles en nuestro laboratorio y procedentes de trabajos previos (Quinteiro *et al.*, 2020). Los ADN (N=50) obtenidos fueron caracterizados, repurificados y se seleccionó un juego de 14 individuos representativos de 3 localizaciones distintas a lo largo de la costa gallega.

A continuación, se prepararon bibliotecas genómicas individualizadas, generadas con el uso combinado de EcoRI-HF y AgeI-HF (NEB), siguiendo protocolos previamente descritos (Quinteiro *et al.*, 2022), para secuenciación en plataforma Illumina y el análisis bioinformático para la definición de juegos de SNPs.

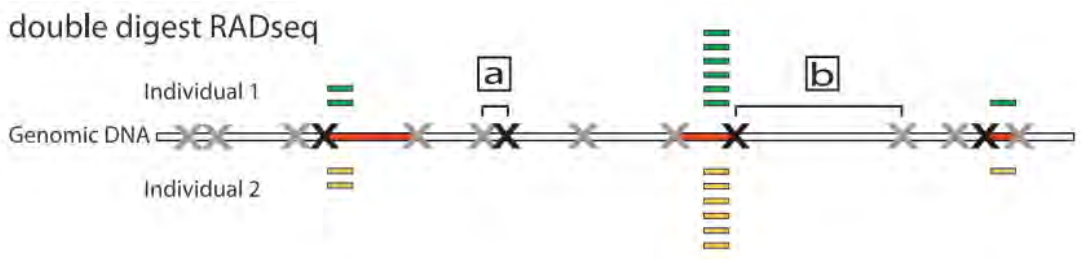


Figura 1. Generación de fragmentos ddRAD (Peterson *et al.*, 2012).

Para la generación de fragmentos ddRAD se ligaron a los adaptadores correspondientes, seleccionándose en el gel de agarosa con base en su tamaño (350-650pb), incorporándose mediante PCR los índices duales específicos de cada individuo, se repurificaron en gel, y se cuantificaron mediante PCR a tiempo final (6nM). La biblioteca pool (30µL) contuvo una mezcla equimolar de fragmentos generados para cada individuo. Fue secuenciado en un equipo MiSeq con el MiSeq Reagent Kit v2 destinado a generar lecturas 2x250pb. Las lecturas sin procesar se filtraron y recortaron, considerando la presencia de adaptadores y tramos de baja calidad (Q<20) con Trimmomatic v0.3.9. Las lecturas se han incluido en las tuberías dDocent, Stacks e ipyrad (Catchen et al., 2011; Eaton and Overcast, 2020; Puritz et al., 2014) para la definición de un conjunto adecuado de SNPs utilizando como referencia una secuencia del genoma de *Octopus vulgaris* (GCA\_951406725.1).

## RESULTADOS

### Detección de SNPs

El número medio de lecturas conseguido para estas muestras fue de 20K. Fue, aproximadamente, similar para las 3 tuberías utilizadas. En el caso concreto de dDocent, el juego crudo de los SNPs seleccionados (8343 SNPs) fue filtrado teniendo en cuenta los requisitos de haber sido genotipado al menos en un 95% de los individuos, tener un puntaje de calidad mínimo de 30, una profundidad mínima y recuento alélico mínimo de 3, prueba HW y DL. Como resultado de los sucesivos pasos de filtrado se terminaron seleccionando un conjunto de 1123 SNPs caracterizados en *O. vulgaris* de la población gallega. Los SNPs detectados son posicionados sobre el ensamblaje GCA\_951406725.2\_xcOctVulg1.2 del genoma de *O. vulgaris*, editado concatenando los contigs no asociados a un pseudocromosoma "unassigned", con forma de barras reflejando un número de SNPs por ventana (1.000.000 pb), con colores acorde con los cromosomas. En el círculo más externo se posicionaron con los SNPs brutos (8343 SNPs), en el siguiente hacia el interior se sitúan los SNPs con filtrado exhaustivo (1123 SNPs) y, en el círculo interno, aquellos con un MAF > 0,4 (226 SNPs) (Figura 2).

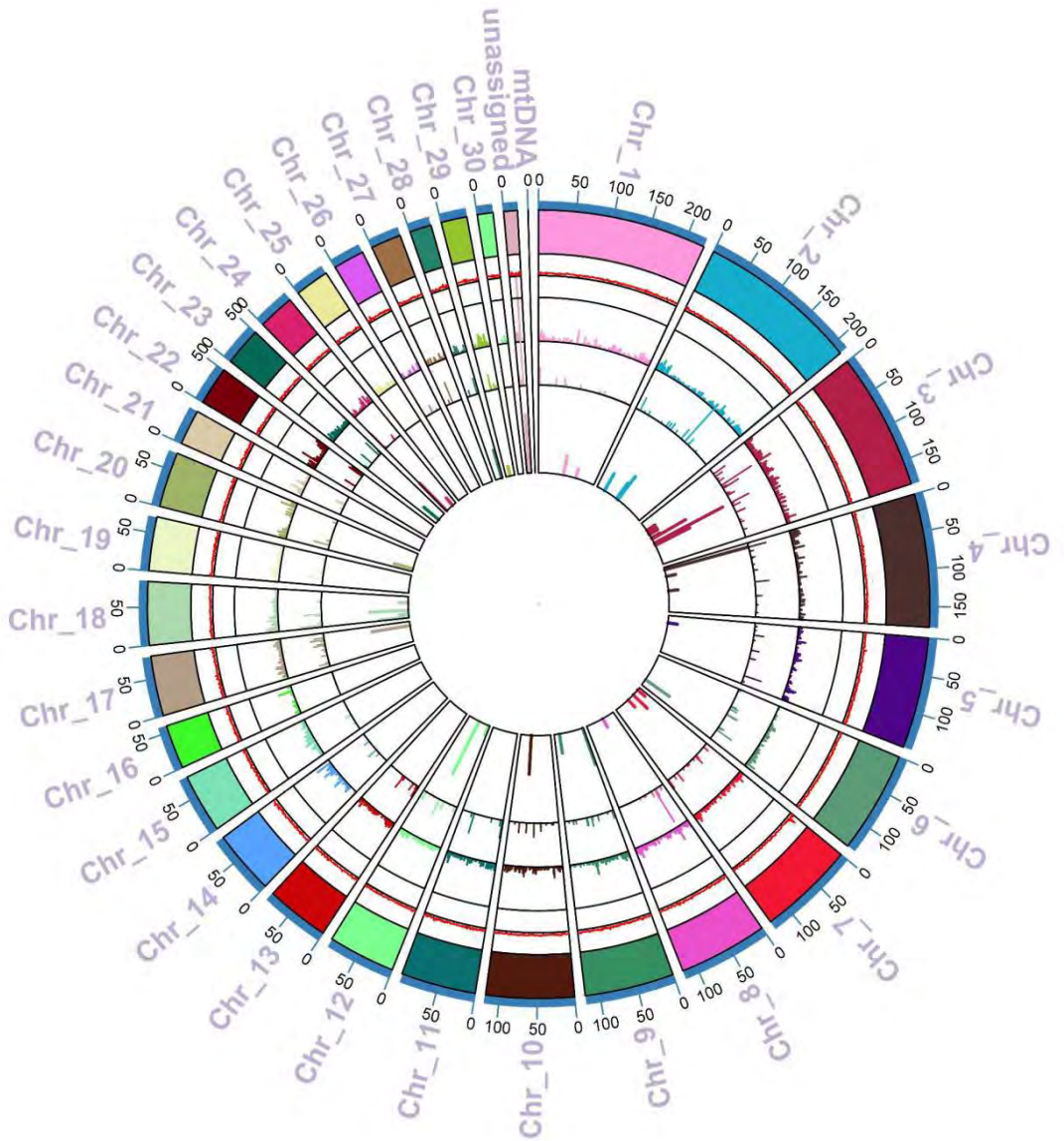
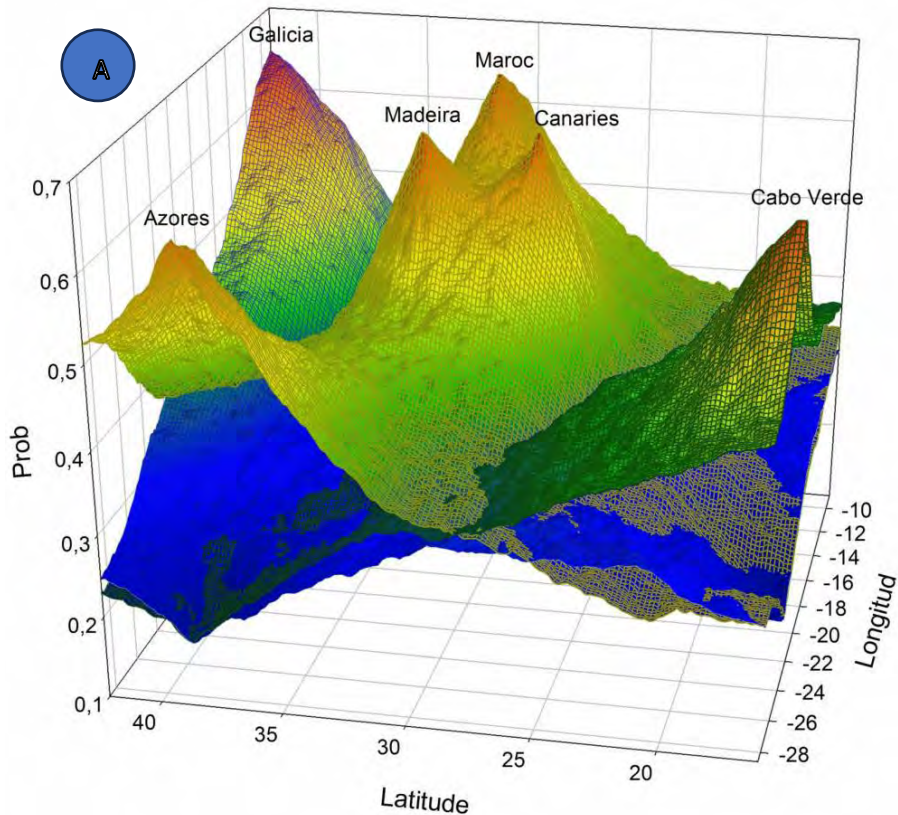


Figura 2. Distribución de los SNPs seleccionados.



## Inferencias filogeográficas

Los análisis de diversidad genética poblacional y la estimación de los diversos parámetros poblacionales estándar fueron realizados con los programas vcfliB, Arlequin, SambaR, Structure, dartR, poppr, pegas, adegenet y ape; entre otros. Cuando se incorporan muestras de otras localizaciones, no gallegas, en el NEA se recuperan las relaciones interpopulacionales. El aislamiento observado entre poblaciones, a nivel mitocondrial, se observa también a nivel nuclear con distinta intensidad (Figura 3).



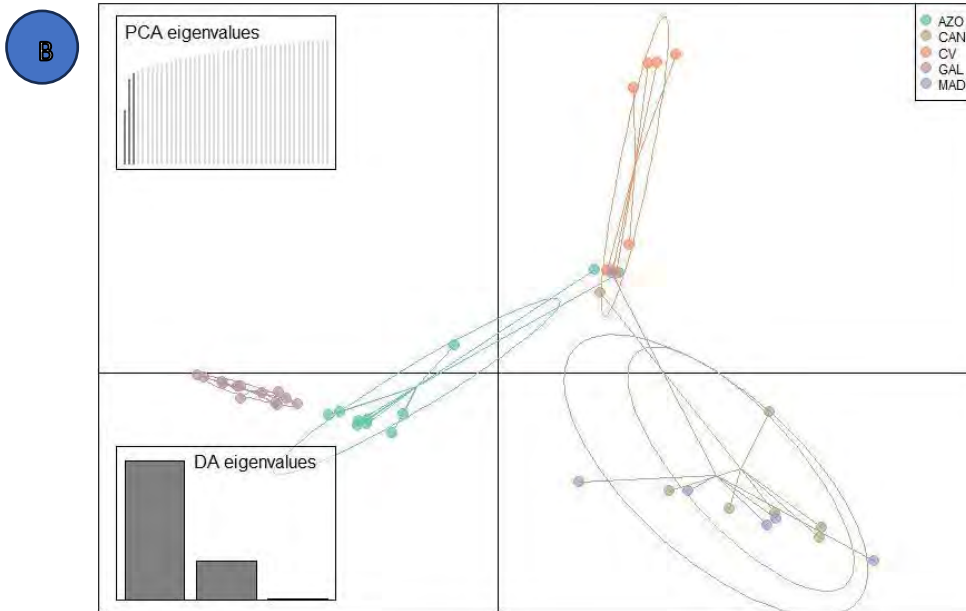


Figura 3. B) Análisis DAPC incorporando esas poblaciones con los datos basados en los SNPs detectados.

### Genotipado con real-time PCR (TaqMan®), un microarray como opción

El genotipado mediante PCR a tiempo real se convierte en una opción eficaz (rtqPCR-microarray) cuando el número de SNPs a interrogar es un número asumible. Por eso deben seleccionarse aquellos SNPs con un mayor valor informativo, en función de su uso, p.ej. estimación de relaciones de parentesco, identificación de linajes o marcaje de caracteres de producción identificados. En la Figura 3, se muestra el genotipado de varios individuos para 3 SNPs usando sondas TaqMan específicas de cada alelo.

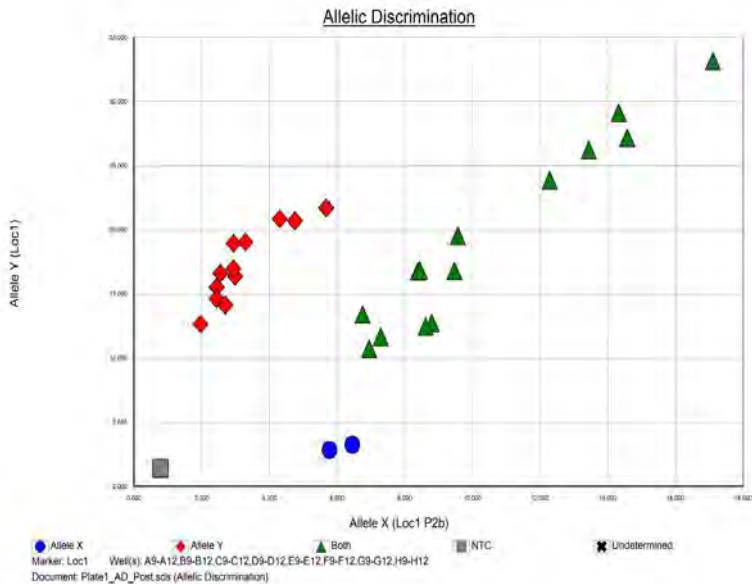
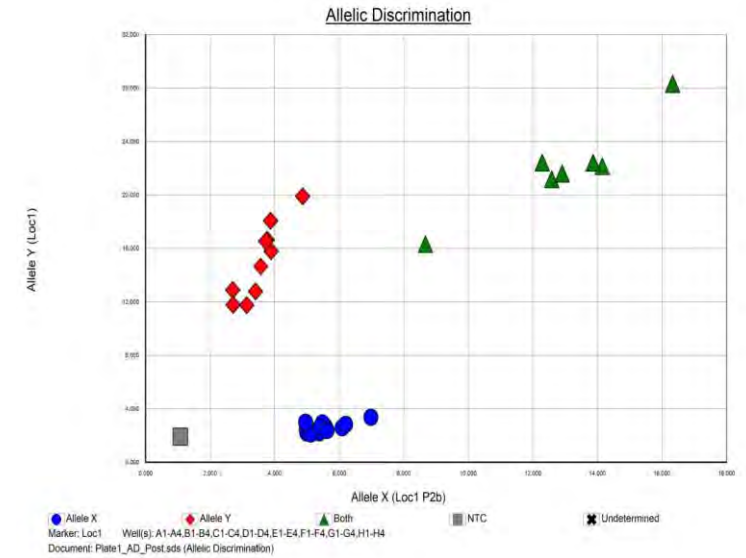


Figura 4. Genotipado con real-time PCR (TaqMan®) de varios individuos para 3 SNPs usando sondas Taqman específicas de cada alelo.

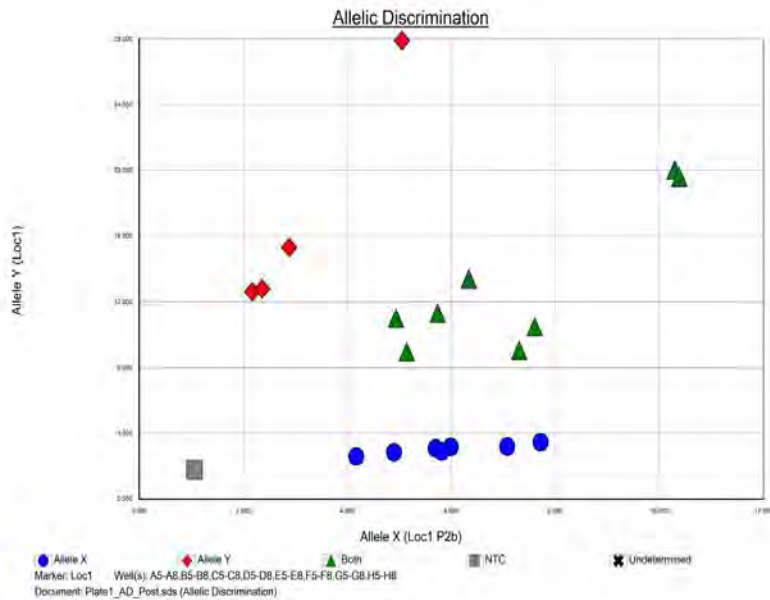


Figura 4. Genotipado con real-time PCR (TaqMan®) de varios individuos para 3 SNPs usando sondas Taqman específicas de cada alelo.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La utilización de este juego completo o la selección de subjuegos es dependiente del ámbito del análisis a llevar a cabo: filogenético, poblacional o de interés para el cultivo tal como reproducción y selección. Así, la implementación de un análisis de paternidad, de interés en el ámbito del cultivo, se lleva a cabo a partir de un subjuego con SNPs seleccionados con una menor frecuencia alélica (MAF)  $> 0,3-0,4$ . Un total de 226 SNPs presentaron un valor MAF  $> 0,4$  (dDocent pipeline). A partir de estos sitios se tienen recuperado las regiones genómicas flanqueantes a los SNPs que permiten el diseño, síntesis e implementación de unos sistemas de amplificación de las regiones que contienen los SNPs seleccionados. La implementación de un análisis de genotipado o parentesco, mediante PCR a tiempo real, con sondas TaqMan en multiplex podría

representar una metodología más eficiente respecto al genotipado mediante SSRs.

## Agradecimientos

Al Programa de Ciencias Mariñas de Galicia que forma parte de los Planes Complementarios de Ciencia del Ministerio de Ciencia e Innovación incluidos en el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia (PRTR-C17.I1). Financiado a través de la Xunta de Galicia con fondos NextGenerationEU y Fondo Europeo Marítimo, de la Pesca y de la Acuicultura de la Unión Europea.



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia



XUNTA DE GALICIA



## REFERENCIAS

Catchen J.M., Amores A., Hohenlohe P., Cresko W., Postlethwait J.H. 2011. Stacks: Building and Genotyping Loci De Novo From Short-Read Sequences. *G3 Genes|Genomes|Genetics*, Volume 1(3), 171-182. <https://doi.org/10.1534/g3.111.000240>

Domingues P., Tur R. 2019. Avances recientes en el cultivo larvario de *Octopus vulgaris*. En: Rey-Méndez M., Fernández Casal J., Guerra A., Lastres M.A., Padín X.A., Lodeiros C. (Eds.). *Foro Rec. Mar. Ac. Rías Gal.* 21: 231-242.

Eaton D.A.R., Overcast I. 2020. Ipyrad: Interactive assembly and analysis of RADseq datasets. *Bioinformatics*, 36(8), 2592–2594 <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btz966>

Luaces-Canosa M., Rey-Méndez M. 2001. El engorde industrial del pulpo *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) en jaulas: análisis de dos años de cultivo en la Ría de Camariñas (Galicia). En: *Convergencia entre Investigación y Empresa: Un reto para el Siglo XXI*. H. Fernández-Palacios y M. Izquierdo (eds.) Monografías Instituto Canario de Ciencias Marinas 4: 184-189.

- Peterson B.K., Weber J.N., Kay E.H., Fisher H.S., Hoekstra H.E. 2012. Double digest RADseq: An inexpensive method for de novo SNP discovery and genotyping in model and non-model species. PLoS ONE, 7(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037135>
- Puritz J.B., Hollenbeck C.M., Gold J.R. 2014. dDocent: a RADseq, variant-calling pipeline designed for population genomics of non-model organisms. PeerJ, 2, e431. <https://doi.org/10.7717/peerj.431>
- Quinteiro J., Baibai T., Oukhattar L., Soukri A., Seixas P., Rey-Méndez, M. 2011. "Multiple paternity in the common octopus, *Octopus vulgaris* (Cuvier 1797) as revealed by microsatellite DNA analysis". Molluscan Research. 2011. 31(1): 15-20.
- Quinteiro J., Rodríguez-Castro J., Rey-Méndez M., González-Henríquez N. 2020. Phylogeography of the insular populations of common octopus, *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797, in the Atlantic Macaronesia. PLOS ONE, 15(3), e0230294. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230294>
- Quinteiro, J., González-Lorenzo, G., Hernández-Reyes, D., Quinteiro, L., Herrera-Pérez, R., Martínez-Barrio, J., González, J. A., Rey-Méndez, M., & González-Henríquez, N. (2022). Genetic differentiation of a critically endangered population of the limpet *Patella candei candei* d'Orbigny, 1840, in the Canary Islands. Conservation Genetics, 23(4), 807–819. <https://doi.org/10.1007/s10592-022-01456-4>
- Rama-Villar A., Faya-Angueira V., Moxica C., Rey-Méndez M. 1997. Engorde del pulpo (*Octopus vulgaris*) en batea. En: Actas del VI Congreso Nacional de Acuicultura (9-11 de julio, 1997. Cartagena, Murcia, España). J. de Costa, E. Abellán, B. García, A. Ortega y S. Zamora (eds.): 245-250. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Rodrigo Burgos-Vega & Manuel Rey-Méndez. 2023. "Análisis de mercado sobre las exportaciones chilenas del pulpo *Octopus mimus* Gould, 1839". XI Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura. Baltazar-Guerrero P. M., González-Henríquez N., Rey-Méndez M., Alió Mingo J.J., Zapata-Vivenes E., De Donato M., Lodeiros C. (Eds). Ediciones AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canaria, España. pp.:728-743. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8056831>



# Caracterización de la microbiota de *Cherax quadricarinatus* (langosta de agua dulce) de cultivo en Cuba, durante su almacenamiento en refrigeración

Characterization of the microbiota of *Cherax quadricarinatus* (freshwater lobster) cultured in Cuba, during refrigerated storage

Whitney Sixela Rodríguez Fuertes\*, Aniley Fernández Valle,  
Yeniset Fumero Acosta, Sheila Ponte Betancourt,  
Raquel Silveira Coffigny

Centro de Investigaciones Pesqueras. 246 No 503, e/  
5ta Ave y Mar, Rpto. Barlovento, Playa, La Habana,  
Cuba

Correspondencia Whitney Sixela Rodríguez Fuertes   
 whitneysixelarodriguezfuentes@gmail.com

Palabras clave |  
langosta de agua dulce,  
microbiota,  
microorganismos,  
bacilos.

**RESUMEN** | La producción de la langosta de agua dulce es una actividad importante en la acuicultura. Su textura y sabor han contribuido a la demanda de este producto en los mercados internacionales. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la microbiota de *Cherax quadricarinatus*, durante su almacenamiento en refrigeración. Las muestras se analizaron en tiempo cero y transcurridos nueve días. Se realizó recuento microbiano, aislamiento e identificación de microorganismos. Los aislados se identificaron mediante el programa ABIS online. Las muestras analizadas obtuvieron conteos en Agar Plate Count de  $5,1 \times 10^3$  UFC/g y  $> 3 \times 10^6$  UFC/g en tiempo cero y a los nueve días del almacenamiento en refrigeración respectivamente. Los microorganismos aislados se caracterizaron morfológicamente como bacilos. En tiempo cero, las cepas obtenidas se identificaron como *Escherichia coli*, *Proteus penneri*, *Hafnia alvei*, *Citrobacter freundii* y *Yersinia intermedia*. A los nueve días de almacenamiento en refrigeración las cepas se identificaron como *Escherichia coli*, *Hafnia alvei* y *Enterobacter cloacae*.



Keywords |  
freshwater lobster,  
microbiota,  
microorganisms,  
bacilli.

**ABSTRACT** | Freshwater lobster production is an important activity in aquaculture. Its texture and flavor have contributed to the demand for this product in international markets. The objective of this work was to characterize the microbiota of *Cherax quadricarinatus*, during its refrigerated storage. The samples were analyzed at time zero and after nine days. Microbial counting, isolation and identification of microorganisms were performed. The isolates were identified using the online ABIS program. The analyzed samples obtained Agar Plate Count counts of  $5.1 \times 10^3$  CFU/g and  $> 3 \times 10^6$  CFU/g at time zero and nine days after refrigerated storage, respectively. The isolated microorganisms were morphologically characterized as bacilli. At time zero, the strains obtained were identified as *Escherichia coli*, *Proteus penneri*, *Hafnia alvei*, *Citrobacter freundii* and *Yersinia intermedia*. After nine days of refrigerated storage, the strains were identified as *Escherichia coli*, *Hafnia alvei* and *Enterobacter cloacae*.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha resultado ser por más de una década la actividad de producción alimenticia con mayor tasa de crecimiento en el mundo. *Cherax quadricarinatus* es una especie omnívora oportunista de origen australiano que ha evolucionado como un organismo resistente que tolera un amplio intervalo de temperatura (23 a 31 °C) con un óptimo de 27 °C, posee alta tasa de crecimiento, ciclo de vida simple, fácil manejo, alto potencial reproductivo y es menos agresiva que otras especies del mismo género (Cortés y col, 2003).

En la actualidad, *C. quadricarinatus* se está cultivando no sólo en su lugar de origen, Australia, sino también en Nueva Zelanda, el Sudeste Asiático, China, Israel, África, América Central (Cuba y México), Sudamérica (Ecuador, Argentina y Uruguay, entre otros) y Norteamérica (Estados Unidos) (Viau, 2010).

La contaminación bacteriana que sufren los animales acuáticos proviene por una parte de la flora autóctona que existe en los ambientes en los que habitan, la cual se caracteriza por el predominio de bacterias Gram negativas.

El desarrollo de la microbiota es un proceso que empieza después del nacimiento de los seres vivos. En los animales terrestres, la fuente inicial de la colonización bacteriana es la microbiota materna, mientras que, en los animales acuáticos, está determinada por el entorno al contacto con el agua circundante. (Puello y col, 2018).

La composición de la microbiota también cambia dramáticamente durante el proceso tecnológico y almacenamiento. De esta forma, después de 1 a 2 semanas de almacenamiento aeróbico en hielo, la flora está constituida casi exclusivamente por *Pseudomonas spp* y *Shewanella putrefaciens*. (Díaz, 2004). A temperatura ambiente (25 °C), la microbiota en el punto de deterioro está dominada por vibrionáceas mesofílicas y si el producto pesquero proviene de aguas contaminadas, por enterobacterias.

Teniendo en cuenta el interés que existe en la composición de la microbiota de los animales acuáticos y su variabilidad en el tiempo, se planteó como objetivo caracterizar la microbiota de la langosta de agua dulce durante su almacenamiento en refrigeración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo con 50 muestras de langosta de agua dulce de talla comercial procedentes de una industria pesquera de Cuba. Los productos fueron conservados en congelación hasta el momento de la ejecución de los análisis. Las muestras se conservaron de 5-7 °C y se analizaron en tiempo cero y a los nueve días de almacenamiento en refrigeración.

### Aislamiento y caracterización de las cepas

De la suspensión inicial 1:10 se transfirió 1 mL a un tubo de ensayo con 9 mL de solución salina peptonada y así sucesivamente hasta obtener diluciones decimales seriadas adicionales hasta 1:1000. De cada dilución se tomó 1 mL y se

sembró en Agar Plate Count por el método de placa vertida. Todos los procedimientos se realizaron por duplicado. Cada una de las placas se incubó a 30 °C durante 72 horas.

Se realizó el recuento de Unidades Formadoras de Colonias por gramo (UFC/g), se escogieron las diluciones donde se pudieran contar entre 10 y 300 colonias. Se caracterizaron los microorganismos de acuerdo con su morfología y coloración adquirida luego de la Tinción de Gram.

Se realizó la caracterización bioquímica mediante las siguientes pruebas: Oxidasa, Catalasa, Sulfuro-Indol-Motilidad (SIM), Arginina, Ornitina, Lisina, Citrato, Rojo de Metilo, Vorges Proskawer, Esculina, Urea, Glucosa, Lactosa, Sorbitol y Manitol. Los resultados obtenidos se introdujeron en el programa ABIS online para la identificación de las cepas.

## RESULTADOS

Las muestras analizadas obtuvieron conteos en Agar Plate Count de  $5,1 \times 10^3$  UFC/g y  $> 3 \times 10^6$  UFC/g en tiempo cero y a los nueve días del almacenamiento en refrigeración respectivamente. En esta segunda etapa se comenzó a evidenciar problemas en el producto tales como: cambios marcados en el hepatopáncreas, principio de melanosis en patas, cambios en el olor, no llegando a ser pútrido y la textura se volvió blanda en el interior de la carne y la parte externa pegajosa.

Todas las cepas aisladas fueron bacilos Gram negativos. En tiempo cero se identificaron 15 cepas correspondiéndose a 5 géneros bacterianos y a los 9 días se identificaron 11 cepas las cuales se correspondieron a 3 géneros.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas bioquímicas realizadas a cada una de las cepas seleccionadas durante el almacenamiento en refrigeración.

Tabla 1. Resultados de las pruebas bioquímicas de las colonias aisladas del Agar Plate Count (tiempo cero).

Colonias	Oxid	Cata	S	I	M	Arg	Orn	Lis	Citrato	R-M	V-P	esculina	urea	G/L	Sor	Man
1	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
2	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+/-	-	-
4	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+/-	-	-
5	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+/-	-	-
6	-	+	-	-	+	-	+	s/ C	-	-	+	-	-	-/-	-	-
7	-	+	-	-	+	-	+	s/ C	-	-	+	-	-	-/-	-	-
8	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
9	-	+	-	-	+	-	+	s/ C	-	-	+	-	-	-/-	-	-
10	-	+	-	-	+	-	+	s/ C	-	-	+	-	-	-/-	-	-
11	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
12	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
13	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+/+	-	+
14	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+/+	+	+
15	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+/+	+	+

Leyenda: Oxi-oxidasa; Cata- catalasa; SIM-sulfhídrico, indol, motilidad; Arg-arginina; Orn- ornitina; Lis- lisina; R-M- rojo de metilo; V-P- Vorges Proskawer, G- glucosa; L- lactosa; Sor- sorbitol; Man- manitol; s/c- sin cambio.

Tabla 2. Resultados de las pruebas bioquímicas de las colonias aisladas del Agar Plate Count (nueve días).

Colonias	Oxid	Cata	S	I	M	Arg	Orn	Lis	Citrato	R-M	V-P	esculina	urea	G/L	Sor	Man
1	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
2	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-/-	-	-
3	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-/-	-	-
4	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
5	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
6	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-/-	-	-
7	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-/-	-	-
8	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+/+	+	+
9	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+/+	+	+
10	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+/+	+	+
11	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+/+	+	+

Leyenda: Oxi-oxidasa; Cata- catalasa; SIM-sulfhídrico, indol, motilidad; Arg-arginina; Orn- ornitina; Lis- lisina; R-M- rojo de metilo; V-P- Vorges Proskawer, G- glucosa; L- lactosa; Sor- sorbitol; Man- manitol; s/c- sin cambio.

En la figura 1 se muestra la identificación de las cepas obtenidas en tiempo cero y a los nueve días de almacenamiento en refrigeración.

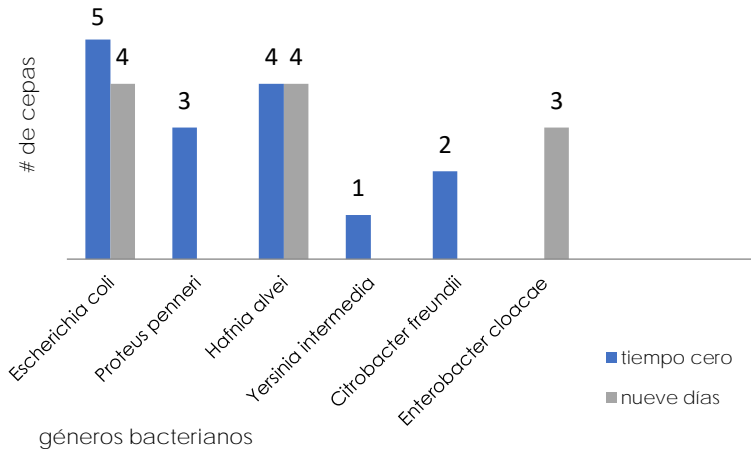


Figura 1. Identificación de las cepas tiempo cero y a los nueve días de almacenamiento en refrigeración.

Como se puede observar en la Figura 1 la identificación realizada en tiempo cero arrojó 5 tipos de géneros microbianos; *Escherichia coli* el cual correspondió a un 33.3 %, *Hafnia alvei* para un 26.6 %, *Proteus penneri* para un 20 %, *Citrobacter freundii* para un 13,3 % y *Yersinia intermedia* para un 6.8 %. A los nueve días se identificaron 3 géneros donde predominaron *E. coli* y *Hafnia alvei* para un 36,4 % cada una.

## DISCUSIÓN

La composición de la microbiota de los animales acuáticos es más simple que la de los animales homeotermos. A diferencia de lo que ocurre en el ser humano y otros animales terrestres, en los animales acuáticos la microbiota no existe como una entidad propia, sino que es cambiante y está influenciada por el ambiente natural en el que se encuentran (Wang y col. 2017).

No se puede afirmar qué factores determinaron la población microbiana presente en la langosta de agua dulce, ya que la microbiota en los organismos

acuáticos está dada por factores internos como la genética, el estadio del desarrollo, así como por factores externos como la temperatura y calidad del agua, además de las condiciones de manejo en los centros de cultivo.

Una gran parte de las bacterias presentes en los productos pesqueros deteriorados no desempeña ningún papel en el deterioro. Cada producto tiene sus propias bacterias específicas del deterioro y es el número de estas bacterias y no el total de microorganismos, lo que guarda relación con la duración del producto (FAO, 1998).

El hecho de que todas las cepas aisladas de las muestras de langosta de agua dulce sean bacilos Gram negativos concuerda con los resultados reportados por Suarez y col, (2017) y Puello y col (2018) que observaron en la microbiota intestinal de los animales acuáticos bacilos de tamaño variado, aerobios estrictos o anaerobios facultativos, móviles por la presencia de flagelos laterales y catalasa positiva; característica que concuerdan con el género *Bacillus*. Diferentes investigaciones en los peces demuestran que las bacterias Gram negativas son las principales constituyentes de la microbiota intestinal (Núñez, 2011., Alcántara-Jauregui y col, 2022).

En la Langosta de Agua Dulce los recuentos bacterianos arrojaron resultados similares a los expuestos por diferentes autores (Nayak, 2010., Suarez y col, 2017., Puello y col, 2018), quienes reportaron que, en la microbiota intestinal de los animales acuáticos, los Phylum más frecuentes son Firmicutes y Proteobacterias (hasta 90 % de esta), lo que confirma lo encontrado en la presente investigación, donde las Proteobacterias están presentes en mayor proporción principalmente a los nueve días del estudio de deterioro.

Según el Instituto Nacional de Pesca del Gobierno de México (2018), entre las enfermedades reportadas en Langosta de Agua Dulce, se encuentran las ocasionadas por las siguientes bacterias: *Aeromonas sp*, *Citrobacter freundii*, *Proteus sp*, *Plesiomonas shigelloides*, *Hafnia alvei*, *Escherichia coli* y *Vibrios sp*. Estas bacterias reportadas coinciden en su mayoría con las identificadas en la matriz de estudio.

*Hafnia alvei* es un microorganismo que se distribuye ampliamente en la naturaleza, y pertenece a la microbiota comensal intestinal de muchos animales, en algunos de ellos se consideran como patógenos oportunistas, especialmente en aves de corral y en peces de agua dulce (Smith, 2014). También se le asocia en la industria alimentaria con el deterioro de algunos productos (Ramos, 2020).

*Escherichia coli* tiene como reservorio importante el tracto digestivo de humanos (Margall y col., 1997., León, 2002) por lo que la transmisión ocurre principalmente por ruta fecal-oral. Como resultado de la contaminación fecal pudo ocurrir la transmisión por el agua. Lo mismo ocurre con *Proteus penneri*, microorganismos que se encuentra en el aparato digestivo humano.

El género *Citrobacter* es un grupo de bacilos Gram negativos aerobios que se encuentran frecuentemente en el agua, el suelo, la comida, vegetación y como flora saprofita en el tracto intestinal de muchos animales además del hombre (Ullauri y Freire, 2019). *Citrobacter freundii* ha sido asociada como patógenos de peces por Swiderski y Jedrsekowska en el año 1976. Lara-Flórez y col (2003) caracterizaron la microbiota intestinal de la tilapia cultivada en tanques de concreto y encontraron el género *Citrobacter*.

*Yersinia intermedia* es una especie de bacteria Gram negativa que se ha encontrado en peces y contiene varios biotipos. No se considera de relevancia clínica, aislándose de humanos de forma rutinaria (Zamora y Enríquez, 1987). Las enfermedades causadas por *Yersinia spp* es una de las de mayor impacto económico en cultivo de salmónidos de agua dulce y otras especies de peces (Alcántara-Jauregui y col, 2022).

El género *Enterobacter* incluye bacterias oportunistas de la familia *Enterobacteriaceae* que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza (Pérez y col, 2017., Silva y Martínez, 2018). Se les puede encontrar en el suelo, agua y como parte de la microbiota de animales, insectos y tracto gastrointestinal humano. Sakata y col. (1980) encontraron que en los peces de agua dulce, como la tilapia nilótica cultivada, la microbiota intestinal dominante eran los géneros *Pseudomonas*, *Aeromonas* y algunas especies de la familia *Enterobacteraceae*. Según Negrete y Romero (1998) *Enterobacter cloacae* se ha encontrado en heces humanas, de animales y en aguas residuales. Corrales y

col. (2011) detectaron la presencia de este microorganismo en un 60 % en la Mojarra Roja.

## CONCLUSIONES

Las muestras obtuvieron conteos en Agar Plate Count de  $5,1 \times 10^3$  UFC/g y  $> 3 \times 10^6$  UFC/g en tiempo cero y a los nueve días del almacenamiento en refrigeración respectivamente. Todas las cepas aisladas fueron bacilos Gram negativos. Se detectaron en tiempo cero y a los nueve días 5 y 3 géneros microbianos respectivamente. Las especies *Escherichia coli* y *Hafnia alvei* fueron las predominantes en ambas etapas del estudio.

## Agradecimientos

Los resultados fueron obtenidos gracias al financiamiento del Proyecto de Investigación: Caracterización de la calidad e inocuidad de nuevos productos esquelos, perteneciente al programa ramal de la pesca y acuicultura (PS1111LH001-10).

## REFERENCIAS

ABIS online-Bacterial identification. Disponible en: <https://www.tgw1916.net>

Alcántara-Jauregui, FM., Valladares-Carranza, B., Ortega, SC. (2022) Enfermedades bacterianas y sus agentes etiológicos identificados en peces de México. *RV MVZ Córdoba*, 27(2) <https://doi.org/10.21897/rmvz.2387>

Corrales, L., Alvarado, M., Castillo, A., Camacho, Y. (2011). Estudio bacteriológico de la calidad del pescado fresco, Bagre y Mojarra Roja comercializado en el municipio de El Colegio, Cundinamarca (Colombia). 9(16): 149. DOI: 10.22490/24629448.497

Cortés, E., Villareal, H., Rendón, M. (2003). Efecto de la frecuencia alimenticia en el crecimiento y sobrevivencia de juveniles de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Decapoda: Parastacidae). Programa de



Acuicultura. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Hidrobiológica* 13 (2), 151-158.

Díaz, A. (2004). Presencia de Bacterias Saprofitas y Patógenas en piel y branquias de pescado fresco. Tesis en opción al título de Licenciado en Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile.

FAO. (1998). El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. En: Huss, H.H (Ed.), *Documento Técnico de Pesca* (pp.51-57). Roma.

Instituto Nacional de Pesca. (2018). Acuicultura. Langosta de agua dulce. Acuicultura comercial. Gobierno de México. Disponible en: [www.gob.mx](http://www.gob.mx)

Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M., Guzmán-Méndez, B., López-Madrid, W. (2003). Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 216(1-4), 193-201.

Margall, N., Domínguez, A., Prats, G., Salleras, L. (1997) *Escherichia coli* Enterohemorrágica. *Revista Española de Salud Pública*, 71, 437-443.

Nayak, S. (2010). Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture*; 41(11), 1553-1573.

Negrete, RP., Romero J (1998). Estudio cualitativo de las condiciones sanitarias de producción y manejo de granjas acuícolas en los estados de México y Morelos. *Hidrobiológica* 8 (1): 43-54.

Núñez, M. (2011). Evaluación preliminar de las poblaciones bacterianas asociadas al tracto intestinal de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) expuesta a aceites esenciales de orégano en la dieta. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias de Bogotá.

Pérez, L., Valdivia, Y., Torres, A. (2017). Aislamiento de *Serratia marcescens* en herida quirúrgica. *Medisur*, 15(4), jul-ago. Cienfuegos.

- Puello, L., Montoya, O., Castañeda, V., Moreno, L. (2018). Caracterización del microbiota presente en el intestino de *Piaractus brachypomus* (Cachamablanca). *Revista de Salud Animal*, 40 (2).
- Ramos, J. (2020). Microbiología de *Hafnia alvei*. *Revista de enfermedades infecciosas y Microbiología clínica*. Instituto de investigación Sanitaria Valdecilla, España, 38,1-6.
- Sakata, T., Sugita, H., Mitsuoka, T., Kakimoto, D., Kadota H. (1980). Isolation and distribution of obligate anaerobic bacteria from the intestines of the freshwater fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 46, 1249-1255.
- Silva, F.; Martínez, P. (2018). Complejo *Enterobacter cloacae*. *Revista chilena de infectología*, 35 (3). Universidad de Chile.
- Smith, J. (2014). *Hafnia*, el género. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 2. Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Suárez, G., Del Carmen, I., Saldaña, G., Xavier, NJ. (2017). Selección de cepa de *Bacillus* spp. probiótica autóctona con mayor actividad enzimática. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional Agraria.
- Swiderski, M., Jedrzekowska, I. (1976). Infekcyjna lekooporność i wirulecja *Citrobacter* *orgniska* intoksykacji prosiat, 32, 665-668.
- Ullauri, C., Freire, S. (2019). *Citrobacter freundii* multirresistente como agente etiológico de infección de vías urinarias. *Kasmera*, 41(1), 9-13. Universidad de Zulia.
- Viau, V (2010). Optimización del crecimiento y la supervivencia de juveniles de la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* mediante el mejoramiento del hábitat. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Wang, A., Ran, C., Ring, E., Zhou, Z. (2017). Progress in fish gastrointestinal microbiota research. *Aquaculture*, 1-15.

Zamora, J., Enriquez, R. (1987) *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia frederiksenii* and *Yersinia intermedia* in *Cyprinus carpio*. *Journal of Veterinary Medicine, Series B.34* (1-10): 155-159.



# Incorporation of *Chlorella vulgaris* in mayonnaise - a sustainable and healthy strategy

## Incorporação de *Chlorella vulgaris* em mayonnaise - uma estratégia sustentável e saudável

Pedro Coelho<sup>1</sup>, Sheyma Khemiri<sup>1</sup>,  
Diogo Figueira<sup>2</sup>, Isabel Sousa<sup>1</sup>,  
Anabela Raymundo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food (LEAF),  
School of Agronomy, Lisbon University (ISA), Tapada da Ajuda,  
1349-017 Lisbon, Portugal.

<sup>2</sup>Mendes Gonçalves SA, Zona Industrial,  
Lote 6, 2154-909 Golegã, Portugal.

Correspondencia Pedro Coelho  [pmcoelho@isa.ulisboa.pt](mailto:pmcoelho@isa.ulisboa.pt)

Keywords |  
*C. vulgaris*,  
mayonnaise,  
phenolic compounds,  
antioxidant capacity

**ABSTRACT** | *Chlorella vulgaris* stands as one of the prominent microalgae to human consumption. Reveals to be a promising source of bioactive compounds with functional properties. In this work, the antioxidant capacity was taken into consideration by the enrichment of commercially available mayonnaise using *Chlorella* biomass with different pigments, resulting from the inhibition of the chlorophyll production. Separating both hydroalcoholic and oil phase, it was possible to figure out this microalga as a potential ingredient to significantly increase phenolic content to >100% in comparison to the control mayonnaise, depending on the type of *Chlorella* (White, Yellow or Smooth). Final results point out *C. vulgaris* as a valid source of nutritional supplementation to daily diets.

Palabras clave |  
*C. vulgaris*,  
maionese,  
compostos fenólicos,  
capacidade  
antioxidante

RESUMEN | *Chlorella vulgaris* representa uma das proeminentes microalgas para consumo humano. Revela uma promissora fonte de compostos bioativos com propriedades funcionais. Neste estudo, foi tomada em consideração a enriquecida capacidade antioxidante de maionese disponível comercialmente pela adição de biomassa de *Chlorella* com diferentes pigmentos, resultante da inibição de produção de clorofila. Ao separar ambas as fases hidroalcoólica e oleica, foi possível desvendar esta microalga como um potencial ingrediente que aumenta significativamente o conteúdo de fenólicos até >100% em comparação com a maionese controlo, valor dependente do tipo de *Chlorella* (White, Yellow or Smooth). Os resultados obtidos apontam a *C. vulgaris* como uma fonte válida de suplementação nutricional para consumo diário.

## INTRODUCCIÓN

Microalgae solo existence supports environmentally and economically life on earth, contribution based in their very own nature and biological role (Fernández *et al*, 2021). Since the last century, scientific attention focused on extensive research to support the need of mitigating and removing greenhouse gases, such as carbon dioxide (Wang *et al*, 2008), using microalgae, which seem to be more efficient in photosynthesis than higher plants (Yun & Park, 2001). A wide range of factors affect the optimal algae growth rate, mainly availability and concentration of nutrients, CO<sub>2</sub>, light conditions, pH, and temperature. (Saad *et al*, 2019). *Chlorella vulgaris* proves its prominence to harvest in comparison with other microalgae due to its growth rate and resilience before invaders and unfavorable conditions (Safi *et al*, 2014).

Overall, addition of *Chlorella vulgaris* in foods substantially improves their composition quality (phenolics, protein, ash, fat, and fiber), sensorial aspects (color, odor, taste and texture), and conservative abilities (anti-oxidative and anti-staling), depending on the appliance conditions of the dried biomass (Chen *et al*, 2022). Some pilot research experiments already described the incorporation of *C. vulgaris* in foods, such as food emulsions (Raymundo *et al*. 2005; Gouveia *et al*, 2006), cookies (Gouveia *et al*, 2007; Batista *et al*, 2017), pasta (Fradique *et al*, 2010),

croissants (Shalaby & Yasin, 2013), fermented milks (Beheshtipour et al, 2013), noodles (Kumoro et al, 2016), bread (Graça et al, 2018; Nunes et al, 2020), processed cheese (Tohamy et al, 2018), “chorizo” sausages (Thirumdas et al, 2018), couscous (Khemiri et al, 2021), ricotta (Khemiri et al, 2022), and 3D printed snacks (Oliveira et al, 2022). Nowadays, it is possible to find a whole range of commercially available food products with *C. vulgaris* (Lafarga, 2019).

Mayonnaise is one of the most consumed emulsion-based sauces worldwide, mainly in fast foods (fried meals and sandwiches) and usually related to risk factors for human health due to its fat content and cholesterol (Mirzanajafi-Zanjani et al, 2019). Recent studies added three microalgae biomasses to low-fat oil-in-water emulsions designed for food product applications (Uribe-Wandurraga et al, 2021). The findings revealed subtle differences in each textural factor between the control and microalgae-infused low-fat emulsions. These results underscore the impact of the unique features and composition of microalgae as functional ingredients, underscoring the importance of ongoing research, such as the present study, to enhance the utilization of these sustainable resources.

Moreover, mayonnaise nutritional content is commonly named along high-risk life factors, that may very well deprive an individual from healthy choices, based on each individual physical or mental risk disorders prepotency. Overall *C. vulgaris* phenolics content characteristics (antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial and anticancer) might help in the prevention of cardiovascular and neurodegenerative diseases (Zhou et al, 2022). It complements strategies to fight overweight associated diseases and diabetes by solidly affecting blood glucose levels and blood serum cholesterol into a process of paced reduction (Mizoguchi et al, 2008). In particular, *C. vulgaris* rich and diverse source of several antioxidants has shown to be protective against depression, boosting patients own control of somatic and cognitive symptoms of depression and anxiety (Panahi et al, 2015).

Western countries lack historical data about ingesting microalgae-based food products, even though *C. vulgaris* production for human consumption has been industrialized in the 1960s in Japan. Besides Japan, this *Chlorella* strain has been Generally Recognized As Safe (GRAS) by Food and Drug Administration (FDA) in the United States of America, labelled as safe to consume by European Food Safety and Authority (EFSA) in the European Union, and by Health Canada in

Canada (Torres-Tiji *et al*, 2020). Flexitarian lifestyle consumers tend to be the fastest targets to raise intent to consume, however transparent and helpful information associated with a competitive price is required (Weinrich & Elshiewy, 2023)

Age and food neophobia seem to be intrinsic to the consumers' attitude towards microalgae consumption, since newer generations support the idea of healthy eating habits and eco-friendly consumption, against the older generations resilience to the idea of balanced diets and conscious food choices based on a disbelief of new technologies and intake benefits (Weickert *et al*, 2021). Social and political strategies may bet on sharing expertise opinions about the benefits and safety in ingesting microalgae to reduce the gap between consumers' food neophobia and willingness to adopt these products as a nutritional advantage in their diets (Al-Thawadi, 2018). Environmental proficiency, food innovation and health benefits, are the main drivers to raise purchase intent. Marketing strategies aligned with an active recommendation for dietary guidelines shall influence the consumer perception and consumption motivation (Palmieri & Forleo, 2020; Maehle and Skjeret, 2022).

Even with the recent research, development and innovation in food industry, the main struggle to promote new consumers stands in the equilibrium between production cost vs acquisition cost (Vigani *et al*, 2015). Considering that, the aim of this work was to evaluate the ability of *Chlorella vulgaris* biomass, to act as both a pigment and an antioxidant agent in commercially available mayonnaise, aligning with current food trend. The used *C. vulgaris* strain was subjected to random mutagenesis and different culture conditions (heterotrophic), resulting in different pigmentation and biochemical composition (Allmicroalgae ©). The obtained biomasses, identified as White *Chlorella* (white color), Yellow *Chlorella* (yellow color), Smooth *Chlorella* (light green), and Honey *Chlorella* (gold color), were incorporated at a concentration of 4% (w/w). Based on previous microalgae related works (Khemiri *et al*, 2021), this level was expected to enhance the nutritional characteristics of the final products.

## MATERIALS AND METHODS

### Mayonnaises Preparation

A control commercially available mayonnaise (*Paladin*, Mendes Gonçalves S. A.) was used as the starting point, being separated in 5 parcels of equal weight. From the control mayonnaise composition, 4% (w/w) of each *Chlorella* biomass (*Allmicroalgae*), with different chlorophyll contents were homogenized in a stirrer (AREX Heating Magnetic Stirrer, Italy). The provided *C. vulgaris* biomasses production and composition was already described in previous works with the same raw materials (Khemiri et al, 2021). Five samples were prepared - MayoP (Control); White (*Chlorella vulgaris* White); Yellow (*Chlorella vulgaris* Yellow); Smooth (*Chlorella vulgaris* Smooth); Honey (*Chlorella vulgaris* Honey). All samples stood in the fridge for 48h at 4°C before proceeding with bioactive compounds analysis.



Figure 1. Heterotrophic *Chlorella vulgaris* powdered biomasses added to the commercially available mayonnaise.

### Antioxidant Potential Assays

Samples antioxidant compounds were extracted by adapting a previously applied method (Bruno et al, 2021). The process started with the addition of 2mL of diluted Methanol in deionized water (70:30) + 2 mL of Hexane + 2 g of sample was mixed in a mixer (Heidolph Reax 2, Germany) for 1h. The sample was then centrifugated at 5000 rpm/4°C/10min in a high speed refrigerated centrifugation machine (Labnet HERMLE Z383K, USA). Both oil phase and aqueous phase were



extracted from the dry matter and kept separately. The reagents were added again in the dry matter, and the procedure repeated in triplicate. After, both oil and aqueous phase were evaporated separately at a 40 °C bath, in a rotavapor (BUCHI Rotavapor R II, Spain) connected to an air pump (BUCHI Vaccum Pump V-700, Spain) reaching 58bar. Then, dry matter was mixed with 2 mL of Dimethyl sulfoxide in a vortex stirrer (LBX V05, Spain). The hydro-alcoholic extracts were then recovered through a syringe equipped with a 0.25 µm nylon filter with a 15 mm diameter (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). The oil phase was re-extracted with methanol-water solution (70:30) and the extracts were treated equally. Remaining extracts were assessed for quantification of phenolic compounds and existent antioxidant activity.

Quantification of Total Phenolic Content (TPC) followed the Folin-Ciocalteu (FC) method, based in a relevant protocol previously applied in this field of research (Khemiri *et al*, 2023). To begin the analysis, 20 µl of each sample phase extract with 100 µl of FC reagent in a ratio of 1:4 settled for 5 minutes at room temperature. Subsequently, 80 µl of a 7.5% sodium carbonate solution was added and thoroughly mixed. After incubating away from light at room temperature for 2 hours, absorbance was measured at a 760 nm wavelength in a microplate reader (Thermo Scientific Multiskan GO spectrophotometer, USA). Gallic acid was employed as the standard reference. TPC was quantified and expressed in micrograms of gallic acid equivalent (GAE) per gram of emulsion (µgGAEq/g).

The Radical Scavenging Ability (RSA) was assessed utilizing the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method derived from the adjustment previously studied for this field of research (Khemiri *et al*, 2023). Analysis began with the combination of 20 µl of each sample phase extract with 180 µl of a methanolic DPPH solution in a concentration of 60 µM. This mixture was placed in 96-well microplates and underwent in an incubation period for 30 minutes. Absorbance was measured at a 517 nm wavelength. Results were expressed as Trolox equivalents per gram (µgTroloxEq/g).

The Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay previously optimized (Benzie & Devaki, 2018) was altered to enable execution in 96-well microplates. FRAP solution preparation was performed with 10 ml of acetate buffer (300 mM), pH-adjusted to 3.6 using acetic acid, blended with 1 ml of ferric chloride hexahydrate

(20 mM) dissolved in distilled water, and 1 ml of 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ - 10 mM) dissolved in HCl (40 mM). Within 96-well microplates, 25  $\mu$ l of the extract combined with 175  $\mu$ l of the FRAP solution (prewarmed to 37°C) was left to incubate for 30 minutes away from light at room temperature. Results were expressed as Trolox equivalents per gram ( $\mu$ gTroloxEq/g).

### Colour Measurements

To perform colour analysis a Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Business Technologies, Inc., Tokyo, Japan) was utilized, measurement based on the CIELAB color coordinate system ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). For each sample, the color was evaluated seven times in different points of spread sample in petri dishes upon a blank piece of paper, following equipment calibration against the white plate. The total color change ( $\Delta E$ ) was calculated for each sample using the following formula (1):

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_i^* - L_0^*)^2 + (a_i^* - a_0^*)^2 + (b_i^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

### Statistical Analysis

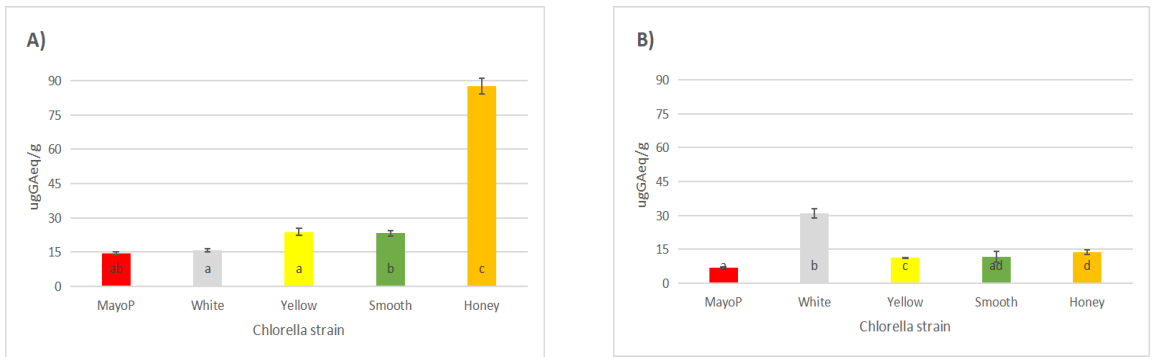
Each sample experiment was conducted in triplicate and the results expressed as mean  $\pm$  standard deviation. Significant differences were considered based on the outputs of ANOVA one-way statistical with Tukey analysis methodology at  $p < 0.05$ , available in the software Origin Pro 2019b (OriginLab Corporation, MA, USA).

## RESULTS AND DISCUSSION

The majority of microalgae are photoautotrophic, however, some strains exhibit the capability to grow heterotrophically, utilizing various carbon sources. Adaptive dexterity depicts potential to enhance growth performance, increase biomass concentration and boost the accumulation of specific molecules of interest. Moreover, elevated biomass concentrations could contribute to the enrichment of specific pigments, making microalgae biomass a promising candidate to use as a coloring agent (Gouveia *et al*, 2006). The current study delves into these aspects.

Considering the high fat content (>60%) in the mayonnaise sample, it was necessary to undergo through a phase separation to achieve a clearer reading of each bioactive compound present in the product, since every molecule is separated by extract based on their polarity (Custódio *et al*, 2012).

Regardless of the used biomass, higher amounts of total phenolic compounds ( $p < 0.05$ ) were determined in all enriched samples (Fig. 2), in comparison to the control sample ( $14.4 \pm 0.53 \mu\text{gGAeq/g}$  Fig. 2A);  $6.94 \pm 0.34 \mu\text{gGAeq/g}$  Fig. 2B)). The supplementation at 4% (w/w) of heterotrophic Honey *Chlorella* to the mayonnaise resulted in more than > 100% increase in the TPC (Fig. 2A)). Regarding the oil phase, the mayonnaise enriched with heterotrophic White *C. vulgaris* exhibited the highest TPC, recording a value of ( $30.93 \pm 2.11 \mu\text{gGAeq/g}$ ) among the enriched samples (Fig. 2B)).



**Figure 2.** Phenolic Content (TPC) following the Folin-Ciocalteu (FC) method. **A)** phenolic compounds in the hydroalcoholic phase and **B)** phenolic compounds in the oil phase. Different letters represent significant differences between samples.

These results underline the nutrients richness of the microalgae lipids composition, mainly flavonoids which greatly contribute for the antioxidant capacities and may very well exhibit free radical scavenging ability (Jayshree *et al*, 2016). Despite being the same strain, the impact of random mutagenesis, distinct culture conditions, and varied growth phases not only affects the primary

metabolite composition but also influences the accumulation of secondary metabolites in the algal biomass. These findings suggest that the antioxidant compounds in microalgae may have different polarities (Khemiri et al, 2021) which subsequently manifest in the enriched food product. Previous research on the incorporation of microalgae into food products has examined the influence of drying and processing methods on the accumulation of bioactive compounds in microalgae, uncovering variations in Total Phenolic Content (TPC) (Nunes et al. 2020; Fradinho et al. 2020).

Enriched mayonnaise samples presented significantly higher ( $p < 0.05$ ) scavenging and reducing antioxidant ability with significant contrast between the different biomasses (Fig. 3 and Fig. 4). The improvement in the content of TPC detected in supplemented mayonnaises led to a significant improvement in the antioxidant capacity of these samples ( $p < 0.05$ ). Despite phase separation, notably, the mayonnaise with Honey *C. vulgaris*, exhibiting total phenolic contents ( $p < 0.05$ ), demonstrated significantly higher DPPH (40.10  $\mu\text{gTEAC/g}$  Fig. 3A)) and FRAP (70.36  $\mu\text{gTEAC/g}$  Fig. 4A)) antioxidant capacities. Previous studies have indicated a correlation between phenolic content and antioxidant potential, both in microalgae biomass and in the final food product, emphasizing the impact of technological processing (Nunes et al., 2020; Khemiri et al., 2022).

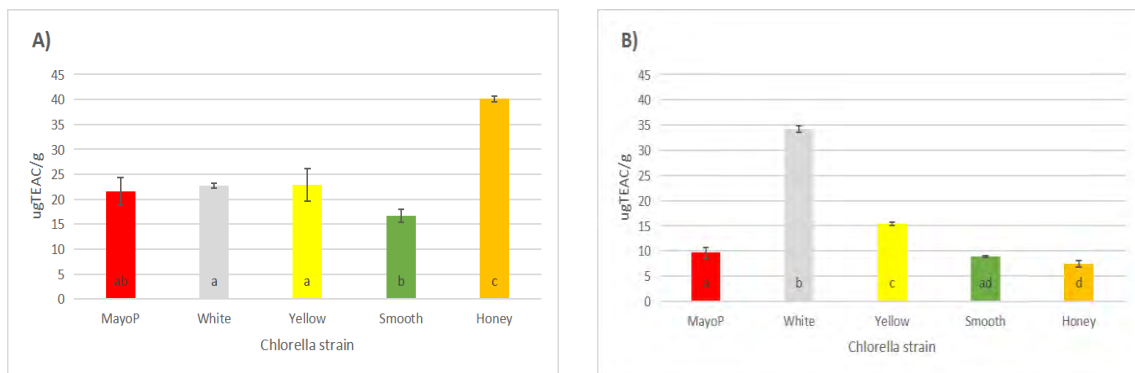


Figure 3. Radical Scavenging Ability (RSA) following the DPPH method. A) antioxidant capacity in the hydroalcoholic phase and B) antioxidant capacity in the oil phase. Different letters represent significant differences between samples.

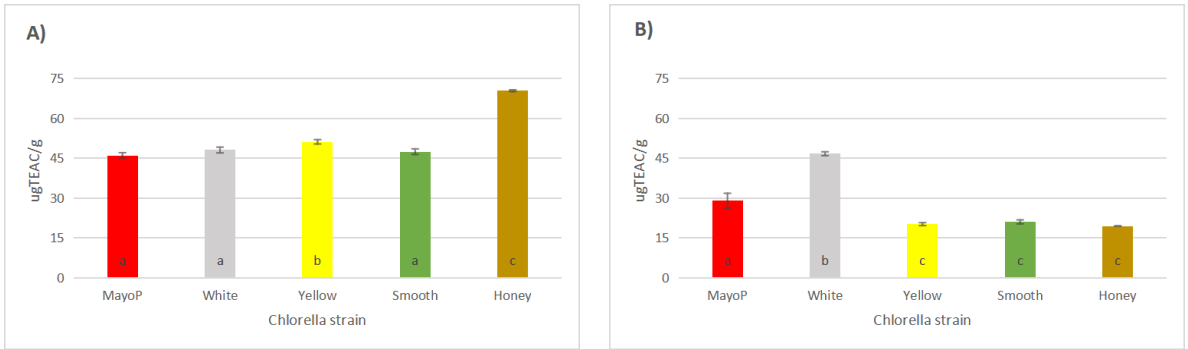


Figure 4. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay. A) antioxidant capacity in the hydroalcoholic phase and B) antioxidant capacity in the oil phase. Different letters represent significant differences between samples.

Organoleptically, colour changes are considerable in the majority of the biomasses addition due to pigments variation. As seen in Fig. 5, which mirrors each prepared sample spread in the petri dishes, the more chlorophyll content present, the more the colour changes are perceived. This empirical noticeable difference is supported by the  $\Delta E$  in Table 1, for each sample in comparison with the control sample (MayoP). Values above 1 tend to represent a colour change possible to perceive (Habekost, 2013).

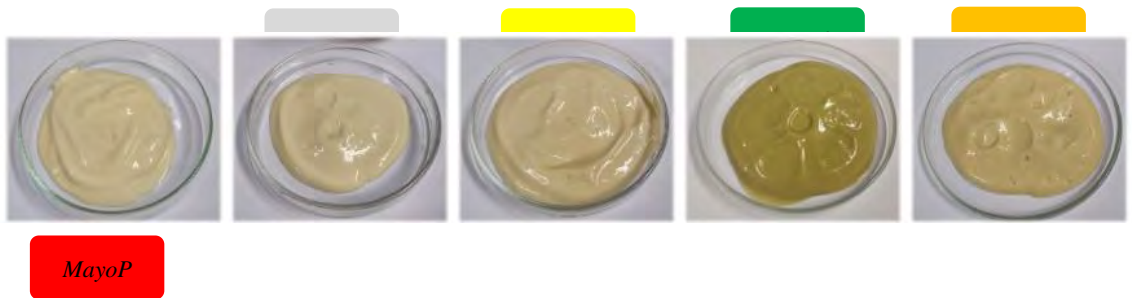


Figure 5. Mayonnaises prepared with different *C. vulgaris* strains biomasses.

Table 1. Mayonnaises with *C. vulgaris* strains addition colour analysis and human eye perception to differences.

	CIELab color space				$\Delta E$
	L*	a*	b*		
MayoP	89.73±1.57a	-2.76±0.37a	30.64±1a		0
White	88.82±1.58ab	-2.91±0.19a	28.29±0.78b		2.518191771
Yellow	86.39±1.56b	-2.43±0.09b	29.74±0.6ab		3.458020255
Smooth	65.53±1.53c	-6.43±0.1c	32.91±0.54c		68.09973953
Honey	82.01±1.42d	-4.09±0.1d	34.49±0.48d		63.15973338

These findings signal that it is feasible to boost the nutritional value of a commercialized food products with microalgae biomass in a straightforward process, requiring minimal culinary expertise. By adding microalgae to homemade creations, the consumers have control over the quantity and hedonistic quality of the microalgae biomass. This allows to tailor the nutritional content of the food products to meet the specific dietary preferences and requirements.

## CONCLUSIONS

*Chorella vulgaris* stands as one of the most interesting and capable microalgae to incorporate in human diet, mainly for the health benefits boost associated with its consumption. Continuous works in the development of novel foods production pave the way for more healthy and sustainable foods choices and availability, **eager to be introduced in the consumers' markets. More importantly, accessibility** to microalgae biomass allows individual appliance in every household. This works serves as an example on how to apply a nutritional supplementary intake in food preparation. Following this idea, consumers can autodrive themselves to prepare richer and functional foods, without the need to wait for the food industry to make them commercially available. Efforts to prepare examples of microalgae biomasses application should be part of food research agenda, anchoring a circular effort to sustainable search and ecofriendly consumption.

## Acknowledgments

We would like to thank the opportunity to perform this research, under the scope of VIIAFOOD - Plataforma de Valorização, Industrialização e Inovação comercial

para o AgroAlimentar project - ref. C644929456-00000040 - funded by Agendas Mobilizadoras para a Inovação Empresarial - PRR I Aviso No 02/C05-i01/2022 program. MYA Protein Emulsion research project. Casa Mendes Gonçalves, SA. LEAF research Centre.

## REFERENCES

- Al-Thawadi, S. (2018). Public perception of algal consumption as an alternative food in the Kingdom of Bahrain. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 25: 1-12.
- Batista, A., Niccolai, A., Fradinho, P., Fragoso, S., Bursic, I., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M., Sousa, I., Raymundo, A. (2017). Microalgae biomass as an alternative Ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. *Algal Research*, 26: 161-171.
- Beheshtipour, H., Mortazavian, A., Mohammadi, R., Sohrabvandi, S., Khosravi-Darani, K. (2013) Supplementation of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* Algae into Probiotic Fermented Milks. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12: 144-154
- Benzie, I., Devaki, M. (2018). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. *Measurement of antioxidant activity & capacity: Recent trends and applications*, 5: 77-106.
- Bhuvana, P., Sangeetha, P., Anuradha, V., Ali, M. (2019). Spectral characterization of bioactive compounds from microalgae: *N. Oculata* and *C. Vulgaris*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19: 101094.
- Bruno, A., Romeo, R., Gattuso, A., Piscopo, A., Poiana, M. (2021). Functionalization of a Vegan Mayonnaise with High Value Ingredient Derived from the Agro-Industrial Sector. *Foods*, 10:2684.

- Cha, K., Koo, S., Lee, D. (2008). Antiproliferative Effects of Carotenoids Extracted from *Chlorella ellipsoidea* and *Chlorella vulgaris* on Human Colon Cancer Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 10521-10526.
- Chen, C., Tang, T., Shi, Q., Zhou, Z., Fan, J. (2022). The potential and challenge of microalgae as promising future food sources. *Trends in Food Science & Technology*, 126: 99-112.
- Custódio, L., Justo, T., Silvestre, L., Barradas, A., Duarte, C., Pereira, H., Barreira, L., Rauter, A., Alberício, F., Varela, J. (2012). Microalgae of different phyla display antioxidant, metal chelating and acetylcholinesterase inhibitory activities. *Food Chemistry*, 131: 134-140.
- Fernandéz, F., Reis, A., Wijffels, R., Barbosa, M., Verdelho, V., Llamas, B. (2021). The role of microalgae in the bioeconomy. *New BIOTECHNOLOGY*, 61: 99-107.
- Fradique, M., Batista, A., Nunes, M., Gouveia, L., Bandarra, N., Raymundo, A. (2010). Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 1656-1664
- Fradinho, P., Niccolai, A., Soares, R., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M., Sousa, I., Raymundo, A. (2020) Effect of *Arthrospira platensis* (*spirulina*) incorporation on the rheological and bioactive properties of gluten-free fresh pasta. *Algal Research*, 45, 101743.
- Gouveia, L., Batista, A., Miranda, A., Empis, J., Raymundo, A. (2007). *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8: 433-436.
- Gouveia, L., Raymundo, A., Batista, A., Sousa, I., Empis, J. (2006). *Chlorella vulgaris* and *Haematococcus pluvialis* biomass as colouring and antioxidant in food emulsions. *European Food Research and Technology*, 222: 362-367.



- Graça, C., Fradinho, P., Raymundo, A. (2018). Impact of *Chlorella vulgaris* on the rheology of wheat flour dough and bread texture. *LWT - Food Science and Technology*, 89: 466-474.
- Habekost, M. (2013). Which color differencing equation should be used?. *International Circular of Graphic Education and Research*, 6: 20-33.
- Jayshree, A., Jayashree, S., Thangaraju, N. (2016). *Chlorella vulgaris* and *Chlamydomonas reinhardtii*: Effective Antioxidant, Antibacterial and Anticancer Mediators. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 78: 575-581.
- Lafarga, T. (2019). Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products. *Algal Research*, 41: 101566.
- Lafarga, T., Rodríguez-Bermúdez, R., Morillas-España, A., Villaró, S., García-Vaquero, M., Morán, L., Sánchez-Zurano, A., González-López, C., Acién-Fernández, F. (2021). Consumer knowledge and attitudes towards microalgae as food: The case of Spain. *Algal Research*, 54: 102174.
- Landrum, J., Bone, R. (2001). Lutein, Zeaxanthin, and the Macular Pigment. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385: 28-40.
- Losada-Lopez, C., Dopico, D., Faina-Medín, J. (2021). Neophobia and seaweed consumption: Effects on consumer attitude and willingness to consume seaweed. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24: 100338.
- Li, H., Cheng, K., Wong, C., Fan, K., Chen, F., Jiang, Y. (2007). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food Chemistry*, 102: 771-776.
- Khemiri, S., Nunes, C., Bessa, R., Alves, S., Smaali, I., Raymundo, A. (2021). Technological Feasibility of Couscous-Algae-Supplemented Formulae: Process Description, Nutritional Properties and In Vitro Digestibility. *Foods*, 10: 3159

- Khemiri, S., Bouchech, I., Berrejeb, N., Mejri, M., Smaali, I. & Khe- lifi, N. (2022). Effects of growth medium variation on the nutri- functional properties of microalgae used for the enrichment of ricotta. *Food Technology and Biotechnology*, 60, 1.
- Khemiri, S., Khelifi, S., Messaoud, C., Smaali, I. (2023). Bioprospecting of microalgae for a potential use as enzyme inhibitors, anti-ageing and prebiotic agents. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 51: 102759.
- Kumoro, A., Johnny, D., Alfilovita, D. (2016). Incorporation of microalgae and seaweed in instant fried wheat noodles manufacturing: nutrition and culinary properties study. *International Food Research Journal*, 23: 715-722.
- Maehle, N., Skjeret, F. (2022). Microalgae-based food: Purchase intentions and willingness to pay. *Future Foods*, 6: 100205.
- Mirzanajafi-Zanjani, M., Yousefi, M., Ehsani, A. (2019). Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce. *Food Science and Nutrition*, 7: 2471-2484.
- Mizoguchi, T., Takehara, I., Masuzawa, T., Saito, T., Naoki, Y. (2008). Nutrigenomic Studies of Effects of *Chlorella* on Subjects with High-Risk Factors for Lifestyle-Related Disease. *Journal of Medicinal Food*, 11: 395-404.
- Muys, M., Sui, Y., Schwaiger, B., Lesueur, C., Vandenneuvel, D., Vermeir, P., Vlaeminck, S. (2019). High variability in nutritional value and safety of commercially available *Chlorella* and *Spirulina* biomass indicates the need for smart production strategies. *Bioresource Technology*, 275: 247-257.
- Neumann, U., Derwenskus, F., Gille, A., Louis, S., Schmid-Staiger, U., Briviba, K., Bischoff, S. (2018). Bioavailability and Safety of Nutrients from the Microalgae *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis oceanica* and *Phaeodactylum tricornutum* in C57BL/6 Mice. *Nutrients*, 10: 965.
- Nunes, M., Graça, C., Vlaisavljević, S., Tenreiro, A., Sousa, I., Raymundo, A. (2020). Microalgal cell disruption: Effect on the bioactivity and rheology of wheat bread. *Algal Research*, 45: 101749.

- Oliveira, S., Sousa, I., Raymundo, A. (2022) Printability evaluation of *Chlorella vulgaris* snacks. *Algal Research*, 68: 102879.
- Palmieri, N., Forleo, M. (2020). The potential of edible seaweed within the western diet. A segmentation of Italian consumers. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 20: 100202.
- Panahi, Y., Badeli, R., Karami, G., Badeli, Z., Sahebkar, A. (2015). A randomized controlled trial of 6-week *Chlorella vulgaris* supplementation in patients with major depressive disorder. *Complementary Therapies in Medicine*, 23: 598-602.
- Raymundo, A., Gouveia, L., Batista, A., Empis, J., Sousa, I. (2005). Fat mimetic capacity of *Chlorella vulgaris* biomass in oil-in-water food emulsions stabilized by pea protein. *Food Research International*, 38(8-9), 961-965.
- Saad, M., Selahic, A., Zoromba, M., Mekki, L., El-Bana, M., Dosoky, N., Nobles, D., Shafik, H. (2019). A droplet-based gradient microfluidic to monitor and evaluate the growth of *Chlorella vulgaris* under different levels of nitrogen and temperatures. *Algal Research*, 44: 101657.
- Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P., Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35: 265-278.
- Shalaby, S., Yasin, S. (2013). Quality Characteristics of Croissant Stuffed with Imitation Processed Cheese Containing Microalgae *Chlorella vulgaris* Biomass. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 8: 58-66
- Stirk, W., Staden, J. (2022). Bioprospecting for bioactive compounds in microalgae: Antimicrobial compounds. *Biotechnology Advances*, 59: 107977.
- Thirumdas, R., Brnčić, M., Brnčić, S., Barba, F., Gálvez, F., Zamuz, S., Lacomba, R., Lorenzo, J. (2018). Evaluating the impact of vegetal and microalgae protein sources on proximate composition, amino acid profile, and physicochemical

properties of fermented Spanish “chorizo” sausages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42: e13817

- Tohamy, M., Shaaban, H., Mohamad, A., Hasanain, A. (2018). Production of functional spreadable processed cheese using *Chlorella vulgaris*. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 17: 347-358.
- Torres-Tiji, Y., Fields, F., Mayfield, S. (2020). Microalgae as a future food source. *Biotechnology Advances*, 10: 107536.
- Uribe-Wandurraga, Z., Martínez-Sánchez, I., Savall, C., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. (2021). Microalgae Fortification of Low-Fat Oil-in-Water Food Emulsions: An Evaluation of the Physicochemical and Rheological Properties. *Journal of Food Science and Technology*, 58,:3701–3711
- Vigani, M., Parisi, C., Rodríguez-Cereso, E., Barbosa, M., Sijtsma, L., Ploeg, M., Enzing, C. (2015). Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. *Trends in Food Science & Technology*, 42: 81-92.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., Lan, C. (2008). CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79: 707-718
- Wang, H., Pan, J., Chen, C., Chiu, C., Yang, M., Chang, H., Chang, J. (2010). Identification of anti-lung cancer extract from *Chlorella vulgaris* C-C by antioxidant property using supercritical carbon dioxide extraction. *Process Biochemistry*, 45: 1865-1872.
- Weickert, S., Grahl, S., Weinrich, R. (2021). Algae production technology: Effect of framing on German consumer acceptance. *Algal Research*, 58: 102401.
- Weinrich, R., Elshiewy, O. (2023). A cross-country analysis of how food-related lifestyles impact consumers' attitudes towards microalgae consumption. *Algal Research*, 70: 102999.

Yun, Y., Park, J. (2001). Attenuation of monochromatic and polychromatic lights in *Chlorella vulgaris* suspensions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55: 765-770.

Zhou, L., Li, K., Duan, X., Hill, D., Barrow, C., Dunshea, F., Martin, G., Suleria, H. (2022). Bioactive compounds in microalgae and their potential health benefits. *Food Science*, 49: 101932



# Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organisms

## Resistencia a los antibióticos en la acuicultura y organismos acuáticos

Soukayna Jarjini, Fatima Mourabiti,  
Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi

1Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of  
Sciences Ain Chock, Research Center of Health & Biotechnology, Hassan II  
University of Casablanca, 20100 Casablanca, (Morocco).

Correspondencia   [bouchra.elkhalfi@gmail.com](mailto:bouchra.elkhalfi@gmail.com)

Keywords |  
aquaculture,  
antibiotics,  
antibiotic resistance,  
biomolecules

**ABSTRACT** | Aquaculture has emerged as one of the **world's fastest**-growing food industries in recent years, helping food security and boosting global economic status providing food required for a rapidly growing human population. The use of antibiotics in aquaculture is well known, may causes the spread and emergence of antibiotic residues in water, bacteria and antibiotic resistance genes pose a health threat by increasing the likelihood of transmission of these bacteria to humans. To counter this problem, alternative approaches to conventional chemical antibiotics are being explored, with a focus on natural products. These alternatives are being considered for their potential to effectively prevent diseases in aquaculture, thereby safeguarding both human health and the integrity of the marine ecosystem. These natural antimicrobial products are made up of metabolites, phytochemicals, essential oils and bioactive peptides from a wide range of plants, animals and micro-organisms

Palabras clave |  
Acuicultura,  
Antibióticos,  
Resistencia a  
antibióticos,  
Biomoléculas

**RESUMEN** | La acuicultura se ha convertido en una de las industrias alimentarias de más rápido crecimiento en el mundo en los últimos años, contribuyendo a la seguridad alimentaria e impulsando la economía mundial, proporcionando los alimentos necesarios para una población humana en rápido crecimiento. El uso de antibióticos en la acuicultura es bien conocido, puede provocar la propagación y aparición de residuos de antibióticos en el agua, las bacterias y los genes de resistencia a los antibióticos suponen una amenaza para la salud, al aumentar la probabilidad de transmisión de estas bacterias a los humanos. Para contrarrestar este problema, se están explorando enfoques alternativos a los antibióticos químicos convencionales, centrándose en los productos naturales. Estas alternativas se están considerando por su potencial para prevenir eficazmente enfermedades en la acuicultura, salvaguardando así tanto la salud humana como la integridad del ecosistema marino. Estos productos antimicrobianos naturales están compuestos de metabolitos, fitoquímicos, aceites esenciales y péptidos bioactivos de una amplia gama de plantas, animales y microorganismos.

## INTRODUCTION

Aquaculture is a rapidly growing industry of aquatic organisms such as fish, shellfish, and aquatic plants, and standing as a cornerstone in ensuring global food security. 17% of all animal protein consumed worldwide comes from aquatic creatures, and fish accounts for around 20% of animal protein consumed per capita for over 40% of the world's population. Its significance is underscored by numerous studies highlighting its potential to address the escalating demand for protein in the human diet (Okeke *et al.*, 2022).

Aquaculture activities have shown an increase in recent years to reorient dietary habits towards greater reliance on fish and seafood consumption and alleviate the strain on existing food resources and meet the nutritional requirements of a growing population (Reverter *et al.*, 2020).

## 1. Antibiotic resistance in aquaculture

Antibiotics are widely used in aquaculture today to prevent fish illnesses, promote healthy development, and improve feed conversion efficiency (Pepi & Focardi, 2021).

The indiscriminate disposal of untreated or improperly managed waste and effluents from different sources including production plants, food processing sectors, and healthcare sectors release various contaminants such as bioactive compounds and unmetabolized antibiotics, and antibiotic-resistant organisms into the environment. These emerging contaminants, notably antibiotics, have the potential to pollute the environment, particularly the aquatic ecosystem due to their widespread use in aquaculture, leading to various toxicological effects on aquatic organisms as well as long-term persistence in the environment (Okeke et al., 2022).

The selective pressure exerted by these contaminants, over extended periods in water and sediments, provides ideal conditions for the emergence and selection of resistant bacterial strains. ARGs can be taken up by various organisms and transferred from one organism to another through various mechanisms, including conjugation, transformation and transduction (figure 1). This reservoir of resistant bacteria in aquaculture farms represents a major threat to local production, by reducing the effectiveness of drugs against pathogens; to the wild environment, by spreading antibiotic residues, bacteria and resistance genes (Santos & Ramos, 2018).

## 2. Human health risk

There is a high risk associated with the transmission of the resistant bacteria from aquaculture environments to humans, as well as a risk associated with the introduction into the human environment of non-pathogenic bacteria containing antimicrobial resistance genes, and the subsequent transfer of these genes to human pathogenic bacteria.



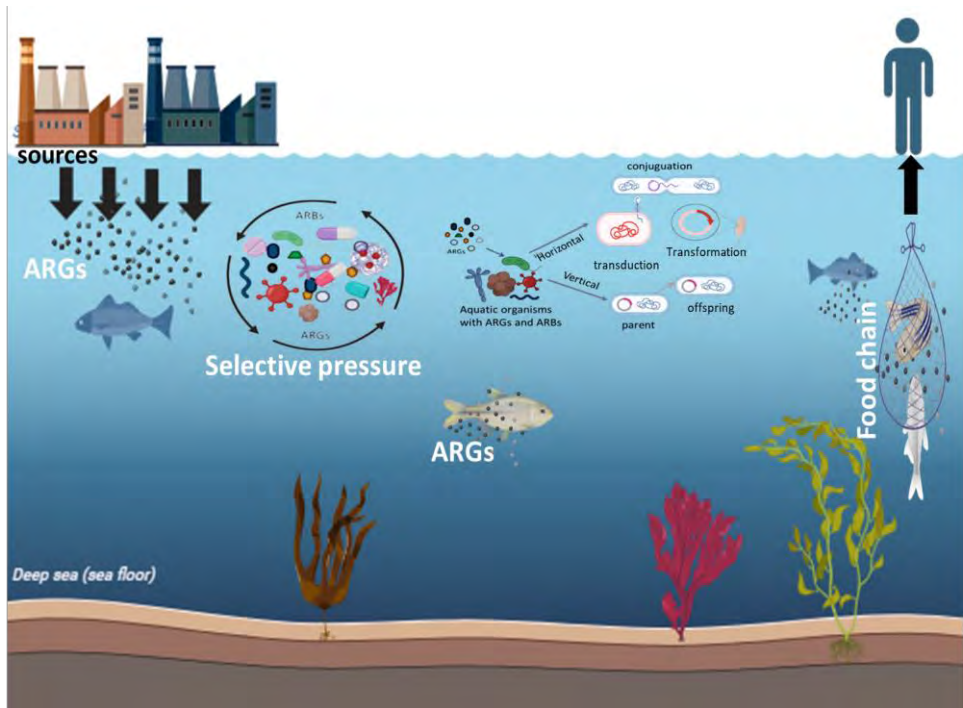


Figure 1. Antimicrobial resistance in aquatic organisms and possible fate

### 3. Antibiotic alternatives

In aquaculture, the use of natural antimicrobials is proving to be a promising solution, providing a sustainable alternative to synthetic chemical antibiotics. These natural products contain a rich collection of compounds, including metabolites, phytochemicals, essential oils, and bioactive peptides derived from a variety of plants, animals, and microorganisms and microorganisms themselves (figure 2). Unlike synthetic antimicrobials, natural antimicrobials are not only effective against pathogen attack but also provide additional benefits such as reducing environmental impact and minimizing the risk of developing antibiotic resistance, promoting also the health and well-being of aquatic organisms while preserving the integrity of marine ecosystems (Bondad-Reantaso *et al.*, 2023).

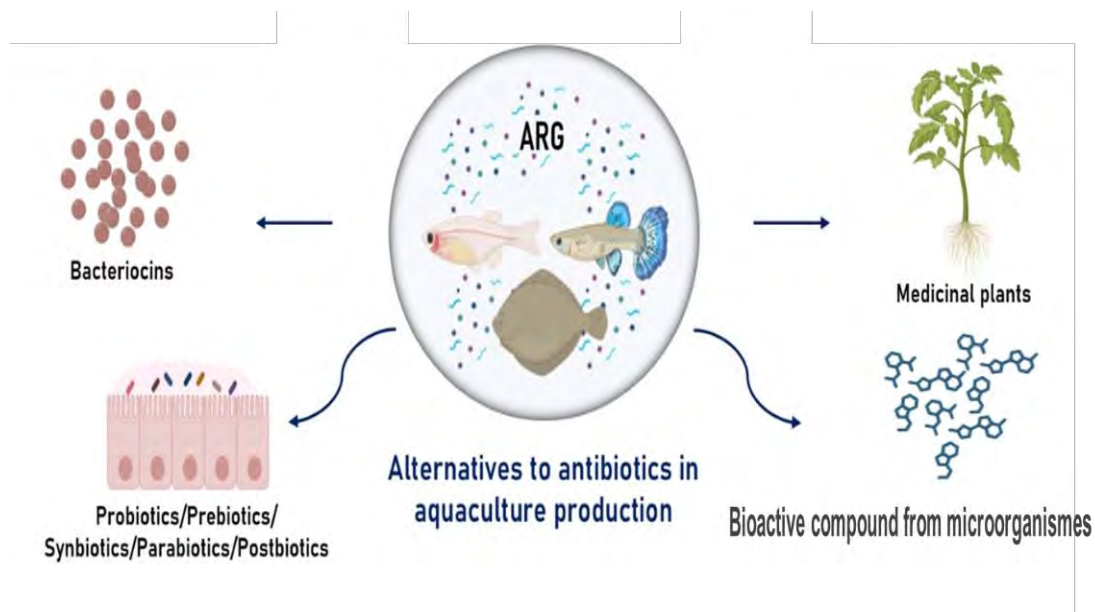


Figure 2. Natural alternatives to treat antibiotic resistance in aquaculture

## CONCLUSION

The utilization of natural antimicrobial agents presents a compelling pathway towards sustainable disease management in aquaculture. By tapping into the rich reservoir of compounds found in nature, aquaculture industries can effectively combat pathogenic attacks while minimizing the environmental footprint associated with synthetic chemical antibiotics. Moreover, the adoption of natural products aligns with the principles of sustainable aquaculture, promoting the health and resilience of aquatic ecosystems.

## REFERENCES

Bondad-Reantaso, M. G., MacKinnon, B., Karunasagar, I., Fridman, S., Alday-Sanz, V., Brun, E., Le Groumellec, M., Li, A., Surachetpong, W., Karunasagar, I., Hao, B., Dall'Occo, A., Urbani, R., & Caputo, A. (2023). Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4): 1421-1451. <https://doi.org/10.1111/raq.12786>

Okeke, E. S., Chukwudozie, K. I., Nyaruaba, R., Ita, R. E., Oladipo, A., Ejeromedoghene, O., Atakpa, E. O., Agu, C. V., & Okoye, C. O. (2022). Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organisms: A review of current nanotechnology applications for sustainable management. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(46): 69241-69274. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22319-y>

Pepi, M., & Focardi, S. (2021). Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115723>

Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D., Avarre, J.-C., Combe, M., Pepey, E., Pouyaud, L., Vega-Heredía, S., de Verdal, H., & Gozlan, R. E. (2020). Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance. *Nature Communications*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15735-6>

Santos, L., & Ramos, F. (2018). Antimicrobial resistance in aquaculture: Current knowledge and alternatives to tackle the problem. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52(2): 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.03.010>



# Cambio climático, Contaminación y efectos antrópicos

# Variación del sistema carbónico y grado de saturación de carbonatos en una zona de cultivo de Mitílicos, Venezuela

## Variation of the carbon system and degree of carbonate saturation in a cultivation area of Mytilids, Venezuela

Aristide Márquez, Jensson Romero,  
Andreina Lemus, Anais Díaz

Universidad de Oriente, Departamento de Oceanografía,  
Instituto Oceanográfico de Venezuela, Venezuela.

Aristide Márquez   [aristd@gmail.com](mailto:aristd@gmail.com)

Palabras clave |  
Sistema carbónico,  
saturación,  
cultivo de Mitílicos,  
Golfo de Cariaco.

RESUMEN | Utilizando metodología clásica para investigaciones oceanográficas, se estudio el sistema carbónico y la saturación de carbonatos en las aguas de una zona de cultivo de Mitílicos ubicada en el Golfo de Cariaco, Venezuela. El fenómeno de surgencia y relajación de la surgencia que ocurre en la zona, condiciona la distribución de todos los parámetros evaluados. Los valores de la temperatura variaron entre 21,49-27,11 °C; la salinidad entre 36,88-39,65 psu; la anomalía de densidad ( $\sigma_t$ ) 21,46-26-39 kg/m<sup>3</sup>; el oxígeno disuelto 148,87-254,26  $\mu$  mol/kg, la utilización aparente de oxígeno (UAO) -37-46 - 62,91  $\mu$ mol/kg; amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 0,19-3,40  $\mu$ mol/kg; 397  $\mu$ mol/kg, nitrito+nitrato (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>) 0,64-11-54  $\mu$ mol/kg; fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) 0,14-0,56  $\mu$ mol/kg; silicato Si(OH)<sub>4</sub> 2,72-5,39  $\mu$ mol/kg; clorofila a (Chl a) 0,22-5,26 mg/m<sup>3</sup>; carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 283,85-512,51  $\mu$ mol/kg; AT 2454,73-2608,80  $\mu$ mol/kg; TC 1696-75-2142,88  $\mu$ mol/kg; bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 1181,88-1849,14  $\mu$ mol/kg, dióxido de carbono disuelto en agua más ácido carbónico (\*CO<sub>2</sub>) 2,36-9,89  $\mu$ mol/kg; saturación de calcita 6,66-11,81; saturación de aragonito 4,40-7,82; pH 7,45-8,06 unidades y fugacidad (fCO<sub>2</sub>) y presión parcial (pCO<sub>2</sub>) 84,21-352,24  $\mu$ atm y 84,50-353,36  $\mu$ atm respectivamente. Durante el periodo de aguas frías generado por la surgencia costera,

se incrementaron los valores de nutrientes, clorofila *a*, y la concentración de todos los parámetros del sistema carbónico, excepto para carbonatos, los grados de saturación de calcita, aragonito y pH; sin embargo, las aguas son ideales para el cultivo de Mitilidos, ya que estos valores son superiores al valor 1 durante todo el año. La zona de estudio actúa como un sumidero de carbonatos hacia el sedimento, y como una fuente de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, especialmente durante la surgencia costera.

#### Keywords |

Carbon system,  
saturation,  
Mitilide cultivation,  
Gulf of Cariaco.

**ABSTRACT |** Using classical methodology for oceanographic studies, the carbon system and saturation in the waters of a Mytilids cultivation area located in the Gulf of Cariaco, Venezuela, were studied. The phenomenon of upwelling and relaxation of the upwelling that occurs in the area conditions the distribution of all the evaluated parameters. The temperature values varied between 21.49-27.11 °C; salinity between 36.88-39.65 psu; the density anomaly ( $\sigma_t$ ) 21.46-26.39 kg/m<sup>3</sup>; dissolved oxygen 148.87-254.26  $\mu\text{mol/kg}$ ; apparent oxygen utilization (UAO) -37.46 - 62.91  $\mu\text{mol/kg}$ ; ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 0.19-3.40  $\mu\text{mol/kg}$ ; 397  $\mu\text{mol/kg}$ ; nitrite+nitrate (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 0.64-11-54  $\mu\text{mol/kg}$ ; phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) 0.14-0.56  $\mu\text{mol/kg}$ ; silicate Si(OH)<sub>4</sub> 2.72-5.39  $\mu\text{mol/kg}$ ; chlorophyll *a* (Chl *a*) 0.22-5.26 mg/m<sup>3</sup>; carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 283.85-512.51  $\mu\text{mol/kg}$ ; AT 2454.73-2608.80  $\mu\text{mol/kg}$ ; TC 1696-75-2142.88  $\mu\text{mol/kg}$ ; bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 1181.88-1849.14  $\mu\text{mol/kg}$ , carbon dioxide dissolved in water plus carbonic acid (\*CO<sub>2</sub>) 2.36-9.89  $\mu\text{mol/kg}$ ; calcite saturation 6.66-11.81; aragonite saturation 4.40-7.82; pH 7.45-8.06 units and fugacity (fCO<sub>2</sub>) and partial pressure (pCO<sub>2</sub>) 84.21-352.24  $\mu\text{atm}$  and 84.50-353.36  $\mu\text{atm}$  respectively. During the period of cold waters generated by the coastal upwelling, the values of nutrients, chlorophyll *a*, and the concentration of all the parameters of the carbon system increased, except for carbonates, the degrees of saturation of calcite, aragonite and pH; However, the waters are ideal for the cultivation of Mytilids, since these values are higher than value 1 throughout the year. The study area acts as a carbonate sink into the sediment and as a source of CO<sub>2</sub> into the atmosphere, especially during coastal upwelling.

## INTRODUCCIÓN

El intercambio de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre la atmósfera y los océanos se ha visto muy perturbado por la liberación de carbono antropogénico desde la Revolución Industrial; aumentado en ~45 % desde esta fecha, de 280 ppm a más de 410 ppm en 2022 (Landa *et al.*, 2023). Como el reservorio de carbono más grande del mundo, el océano ha absorbido ~30% del  $\text{CO}_2$  antropogénico; esto es aproximadamente un 50 % menos que el valor actual lo que ha alterado el sistema de carbonato marino (Huang *et al.*, 2021; Dlugokencky *et al.*, 2021). En comparación con las zonas oceánicas, la dinámica del carbono inorgánico en las aguas costeras ha recibido relativamente poca atención (Keer *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2023). Debido a las múltiples presiones de la naturaleza y las actividades humanas, por ejemplo, la entrada de nutrientes y contaminantes orgánicos, el ciclo del carbono en las aguas costeras es más activo y la dinámica de los sistemas de  $\text{CO}_2$  suele ser más compleja (Cai *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2021).

Para control del sistema de carbonatos, es bien sabido que el metabolismo del carbono de las comunidades marinas, es decir, el equilibrio de la fotosíntesis y la respiración, se considera el factor clave (Dai *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2023). Generalmente, en un ecosistema autótrofo neto donde la fotosíntesis es mayor que la respiración, la absorción de  $\text{CO}_2$  por la fotosíntesis excede el producido por la mineralización, lo que aumenta el pH, la concentración de iones de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), y los grados de saturación del carbonato ( $\Omega_{\text{Ca}}$  y  $\Omega_{\text{Arag}}$ ), y disminuyen el carbono inorgánico disuelto (CT; llamado también DIC o  $\text{TCO}_2$ ) y presión parcial de  $\text{CO}_2$  (Yang *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2023). Los Mitilidos forman sus valvas de carbonato de calcio a partir del ion carbonato y ión calcio del medio circundante. A su vez la concentración de estos dos iones determina el estado de saturación de las diferentes formas cristalinas de carbonato de calcio en el medio marino (e.g., aragonita y calcita). El estado de saturación del carbonato de calcio se describe por el parámetro Omega  $\Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K^*_{\text{sp}}$ ; donde  $K^*_{\text{sp}}$  es el producto de la solubilidad aparente y depende de la temperatura, salinidad y presión correspondiente de la fase mineral particular (Zeebe y Wolf-Gladrow, 2001). Valores de  $\Omega < 1$  representan aguas subsaturadas en  $\text{CaCO}_3$  lo que indica que el  $\text{CaCO}_3$  en esas aguas se tiende a disolver (i.e. indica aguas corrosivas para el  $\text{CaCO}_3$ ).

Además, debido a la formación y metabolismo del carbonato de calcio biogénicos ( $\text{CaCO}_3$ ), las comunidades calcificadas también tienen efectos importantes en la dinámica del sistema carbonatado en las aguas costeras, especialmente en aquellas áreas con una gran cantidad de organismos calcificados, por ejemplo, los arrecifes de coral y áreas de cría de moluscos (Bates et al., 2014; Yang et al., 2021). El sistema de  $\text{CO}_2$  en el océano se puede estudiar midiendo al menos dos de los siguientes parámetros: carbono inorgánico total (CT); alcalinidad total (AT); pH, y fugacidad del  $\text{CO}_2$  ( $f\text{CO}_2$ ) o presión parcial del  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ); adicionalmente se puede incorporar la mezcla del dióxido de carbono disuelto en el agua más el ácido carbónico, determinado por el parámetro  $\ast\text{CO}_2$  (Sarmiento y Gruber, 2006).

El objetivo de esta investigación fue, estudiar los componentes del sistema carbónico en sus aguas del Golfo de Cariaco, en especial en la Ensenada de Turpialito, en la cual se encuentra una zona de cultivo de Mitílidos. El resultado de esta investigación podría contribuir al fortalecimiento de futuros proyectos, ya que este es el primer trabajo en Venezuela de este tipo, y es relevante ya que representa un componente de estudio de cambio climático, el cual afecta la biota y en especial las que poseen estructuras de carbonato.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se utilizaron los datos históricos de los años 2018 y 2019 (octubre 2018 hasta diciembre 2019) de la Ensenada de Turpialito, la cual se encuentra ubicada dentro del Golfo de Cariaco (Fig.1).



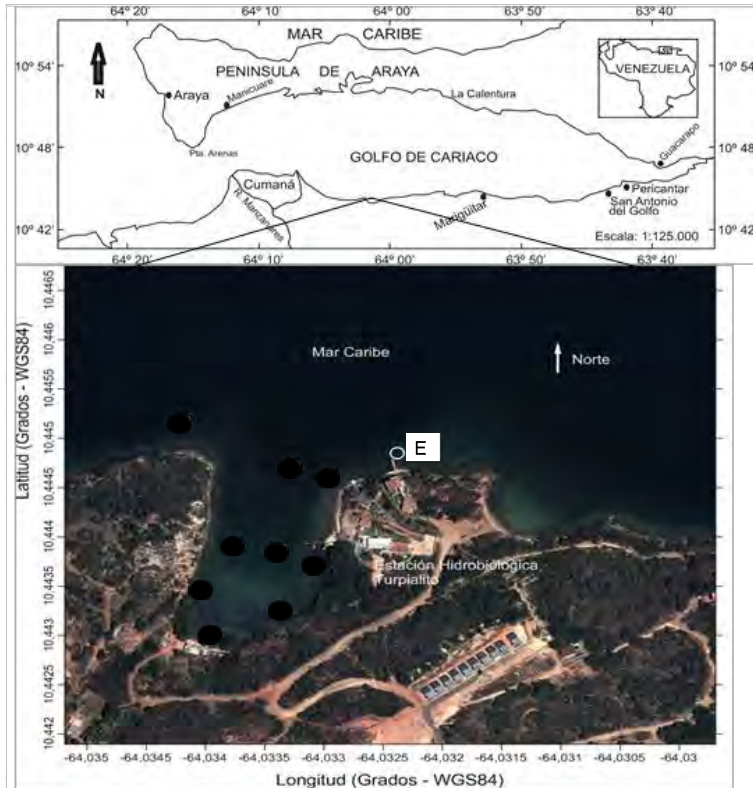


Figura.1. Zona de estudio mostrando la estación de muestreo (E) en la Ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco.

El Golfo de Cariaco posee un gran potencial ecológico, ya que en ella se han desarrollado cultivos experimentales como los pectínidos *Euvola* (*Pecten*) *ziczac*, *Nodipecten* (*Lyropecten*) *nodosus* y *Argopecten* *nucleus*, el mejillón verde *Perna* *viridis*, el hacha o rompe chinchorro *Pinna* *carnea* y las ostras perleras *Pteria* *colymbus* y *Pinctada* *imbricata* (Semidey et al., 2010).

Utilizando botellas Niskin de 5l, se realizaron treinta muestreos (2 muestreos por mes) con un lapso de quince días entre ambos; para recolectar las muestras desde la superficie hasta la profundidad de 16 metros, siguiendo un perfil: superficie, 4 m, 8 m y 16 m. Estas profundidades se escogieron por ser la zona somera, y por encontrarse a esas profundidades los cultivos de Mitilidos (mejillones) llevados a cabo por el Grupo de Biología de Moluscos del Instituto Oceanográfico

de Venezuela. Las metodologías utilizadas en los análisis de laboratorio se resumen en la Tabla 1. Para validar los datos y determinar diferencias estadísticas con la profundidad, mensualidad y período de surgencia y relajación, se realizó prueba de ANOVA utilizando un análisis de Kruskal-Wallis (Tabla 2). Por no existir diferencias con la profundidad los datos fueron promediados y se graficaron los valores promedios de cada parámetro fisicoquímico de columna de agua. También se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para estudiar la contribución de cada variable a la variabilidad de los componentes del sistema carbónico (Johnson y Wichern, 1992). Se escogieron aquellos componentes en los cuales la varianza acumulativa fuese mayor al 70 %. Se utilizaron los paquetes estadísticos Statgraphics Centurión 16.103, y XLStat-Pro v 7.5.2 acoplado a Microsoft Excel 2010.

Tabla 1. Métodos de análisis utilizados en la investigación

Parámetro	Método	Referencia
Temperatura (t)	Sonda multiparamétrica Waterproof Tester EZDO modelo 7200	
Salinidad (ups)	Sonda multiparamétrica YSI, modelo 600R.	
Anomalía de densidad (st)	(st = $\rho - 1000$ )	Fofonof y Millard, 1983 Aminot y Chaussepied, 1983
Oxígeno disuelto	Winkler	1983
Utilización aparente de oxígeno (UAO)		UNESCO (1986)
pH	Sonda multiparamétrica Waterproof Tester EZDO modelo 7200	
Nitratos	Treguer y Le Corre (1975)	Strickland y Pearson, 1972
Amonio	Koroleff, 1976.	Strickland y Pearson, 1972
Nitrito	Bendschneider & Robinson, 1952	Strickland y Pearson, 1972
Fosfato	Murphy y Riley 1962	Strickland y Pearson, 1972
Silicato	Mullin y Riley 1955	Strickland y Pearson, 1972
Clorofila a	Lorenzen ,1966	Strickland y Pearson, 1972
Parámetros del sistema carbónico	Programa CO <sub>2</sub> SYS	Lewis y Wallace, 1998
Alcalinidad total (AT)	Potenciométrico	Pérez y Fraga, 1987
Análisis estadístico	Kruskal-Wallis y ACP	Johnson y Wichern, 1992

Tabla 2. Valores de *P* obtenidos en el K.Wallis ( $P < 0,05$ ) aplicado a los parámetros hidrográficos e hidroquímicos.

		t	S	st	O <sub>2</sub>	UAO			
Mes	<i>P</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	Kw	87,61	103,33	71,86	53,28	47,42			
Período	<i>P</i>	0	0	0,01	0,01	0,01			
	Kw	84,92	48,69	6,51	6,52	6,52			
Profundidad	<i>P</i>	0,24	1,00	0,16	0,01	0,00			
	Kw	4,18	0,003	5,14	12,73	14,57			
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Si(OH) <sub>4</sub>	Chl a		
Mes	<i>P</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Kw	54,54	62,86	59,9	41,51	32,44	64,14		
Período	<i>P</i>	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Kw	44,88	2,08	2,53	3,54	6,75	33,21		
Profundidad	<i>P</i>	0,01	0,05	0,47	0,07	0,01	0,44		
	Kw	12,09	7,71	2,52	7	11,64	2,68		
		pH	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TC	AT	Wcal	Warag	fCO <sub>2</sub>
Mes	<i>P</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kw	66,86	77,59	95,36	104,56	77,06	76,43	76,4	87,63
Período	<i>P</i>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01
	Kw	8,82	6,44	10,83	15,73	17,55	5,62	5,65	7,3
Profundidad	<i>P</i>	0,53	0,34	0,45	0,59	0,93	0,31	0,31	0,4
	Kw	2,21	3,37	2,62	1,91	0,45	3,58	3,55	2,92

## RESULTADOS

Los valores de la temperatura variaron entre 21,49-27,11 °C, el patrón de distribución mostro un descenso desde octubre del 2018 hasta julio del 2019 causado por las aguas que frías que emergen desde el fondo durante el evento de surgencia costera, y una posterior elevación hasta diciembre del 2019. En la costa nororiental venezolana, los meses de surgencia más intensa se ubican entre febrero y abril, con un segundo pico en el mes de julio. La salinidad osciló entre 36,88-39,65 psu, de manera similar a lo que sucede con la temperatura, muestra sus mínimos valores durante los meses de surgencia, con un aumento gradual con valores más altos a finales de año cuando las temperaturas son más altas. La anomalía de densidad ( $\sigma_t$ ) varió entre 21,46-26,39 kg/m<sup>3</sup>; el patrón de distribución fue inverso a la temperatura, apreciándose y muestra aguas densas durante la surgencia y aguas menos densas a finales de año cuando las lluvias se intensifican más en la zona (Fig 2A).

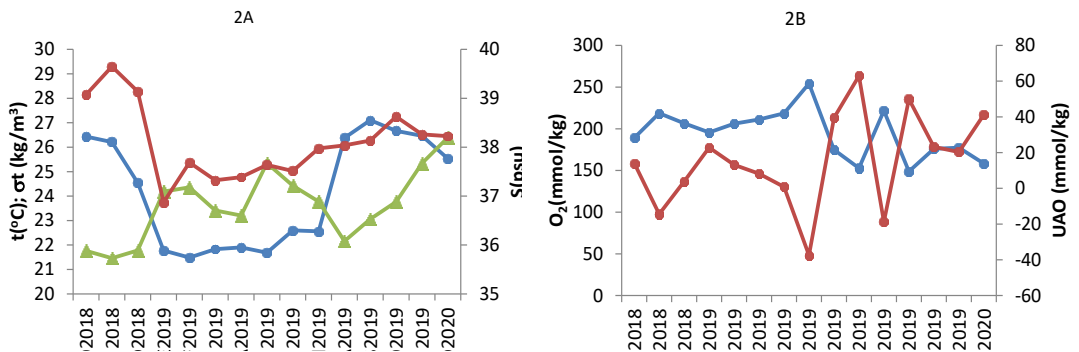


Figura.2. Variación mensual de la temperatura, salinidad, anomalía de densidad (2A), oxígeno disuelto y UAO (2B) en aguas del Golfo de Cariaco.

La concentración de oxígeno disuelto fluctuó entre 148,87-254,26  $\mu\text{mol/kg}$  y la utilización aparente de oxígeno (UAO) entre -37-46-62,91  $\mu\text{mol/kg}$ . La distribución del oxígeno disuelto muestra sus máximos durante los primeros meses del año cuando las aguas son más frías, lo cual permite una mayor solubilidad y también cuando los procesos fotosintéticos son mayores, lo cual es tipificado por una mayor concentración de clorofila *a*. La UAO mostró un patrón contrario al oxígeno

disuelto; los valores positivos son indicativo de procesos de degradación de materia organica y los negativos de procesos fotosinteticos (Fig. 2B). La concentración de nutrientes oscilaron para amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) 0,19-3,40  $\mu\text{mol/kg}$ ; nitrito+nitrato ( $\text{NO}_2^-+\text{NO}_3^-$ ) 0,64-11-54  $\mu\text{mol/kg}$ ; fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 0,14-0,56  $\mu\text{mol/kg}$  y silicato ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) 2,72-5,39  $\mu\text{mol/kg}$ ; mientras que la concentración de la clorofila a (Chl a) osciló entre 0,22-5,26  $\text{mg/m}^3$ . Las maximas concentraciones de nutrientes se determinaron durante los primeros meses del año cuando la surgencia es más intensa, y se produce una inyección de nutrientes desde las aguas de fondo, esto hace que se incremente la concentración de clorofila a (Fig.3A; Fig.3B).

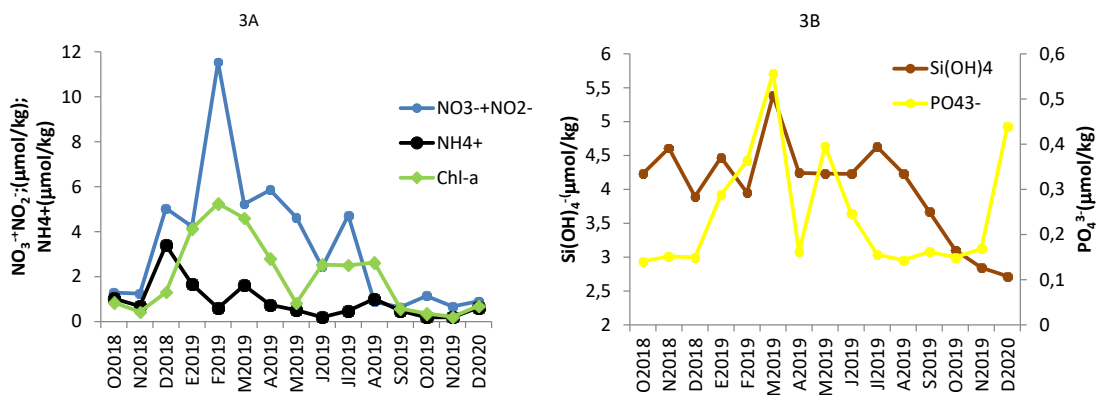


Figura.3. Variación mensual de la concentración de los nutrientes nitrogenados y clorofila a(3A), fosfato y silicato (3B) en aguas del Golfo de Cariaco.

Los parametros del sistema carbonico mostraron concentraciones de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) entre 283,85-512,51  $\mu\text{mol/kg}$ ; apreciándose un desdénso en los valores durante los meses de surgencia y los maximos a finales de año durante la relajación de la misma. Los valores minimos son causados por el aporte de las agas de fondo y por la incorporacion del carbonato en la estructura del plancton. La alcalinidad total (AT) fluctuó entre 2454,73-2608,80  $\mu\text{mol/kg}$ ; el paton de distribución fue contrria a la del carbonato (Fig.4A), lo cual evidencia que tiene una mayor dependencia del ion bicarbonato; en las aguas marinas los carbonatos contribuyencon aproximadamente el 10% a la alcalinidad, el restante 90% lo aporta el ion bicarbonato. La AT mostró una correlación inversa con la salinidad ( $r=0,70$ ; Tabla 2), ya que las variaciones de la salinidad tienen influencia en las concentraciones del carbonato de calcio. Las concentración de TC 1696-

75-2142,88  $\mu\text{mol/kg}$ ; bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) 1181,88-1849,14  $\mu\text{mol/kg}$  y dióxido de carbono disuelto en agua más ácido carbónico ( $^*\text{CO}_2$ ) 2,36-9,89  $\mu\text{mol/kg}$ ; mostraron una distribución similar (Fig.4B), evidenciando la mayor contribución del ion bicarbonato al CT con respecto a las demás especies. La distribución muestra los máximos valores de estas tres especies durante los meses de surgencia costera, cuando las aguas de fondo ricas en estos tres compuestos, emergen hacia las aguas más superficiales. A final de año, las concentraciones vuelven a disminuir progresivamente.

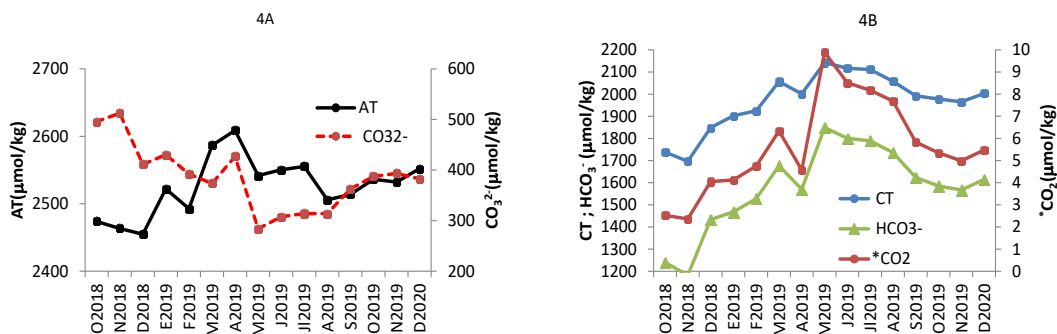


Figura 4. Variación mensual de la concentración AT, carbonato (4A), CT, bicarbonato y  $^*\text{CO}_2$  (4B) en aguas del Golfo de Cariaco.

Los grados de saturación de calcita ( $\Omega_{\text{Ca}}$ ) 6,66-11,81 y de aragonito ( $\Omega_{\text{Arag}}$ ) 4,40-7,82; mostraron un patrón de distribución decreciente desde finales de año hasta principio de año cuando la surgencia es más intensa (Fig.5A). Los valores son mayores a uno ( $\Omega > 1$ ) lo que es indicativo de que estas aguas son excelentes para el cultivo de metilidos ya que están saturadas en carbonatos, y al mismo tiempo son una fuente de este compuesto hacia los sedimentos. Al igual que la concentración del ion carbonato, los valores se correlacionaron negativamente con la concentración de dióxido de carbono disuelto en el agua + ácido carbónico ( $^*\text{CO}_2$ ) ( $r < -0,90$ , Tabla 2), lo cual evidencia que estos compuestos se ven afectados en sus valores debido a la acidez de las aguas. El pH varió entre 7,45-8,06 unidades, y mostró un patrón de distribución decreciente desde finales del 2018 hasta mayo del 2019 cuando están presentes las aguas de surgencia que son más ácidas, luego los valores comenzaron a incrementarse progresivamente hasta finales del 2019 (Fig.5A). Lafugacidad ( $f\text{CO}_2$ ) y presión parcial ( $p\text{CO}_2$ )

oscilaron entre 84,21-352,24  $\mu\text{atm}$  y 84,50-353,36  $\mu\text{atm}$  respectivamente. Los valores fueron mayores durante el periodo de surgencia costera; mostraron un gradiente de distribución creciente desde octubre del 2018 incrementandose desde 80  $\mu\text{atm}$  hasta mayo del 2019 cuando se alcanzó el maximo superior a 300  $\mu\text{atm}$  y luego decrecen nuevamente hasta finales del 2019. Las aguas de fondo más frías y cargadas en dióxido de carbono, producido en parte por la degradación de la materia orgánica incrementan los valores hacia las aguas de superficie durante los meses de surgencia (Fig.5B).

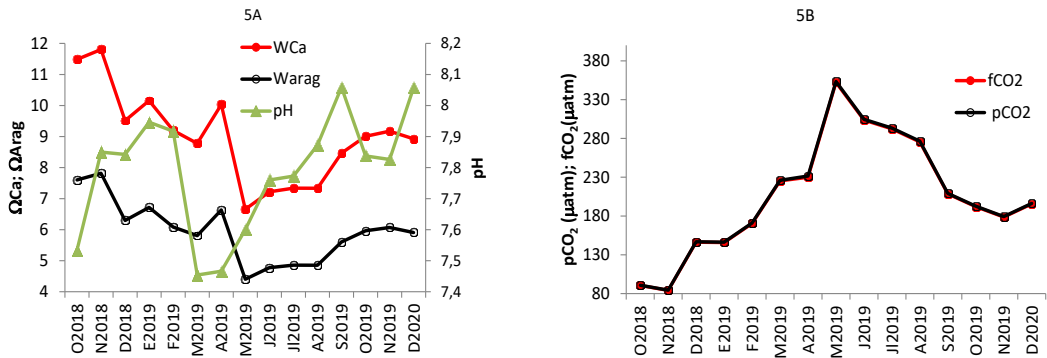


Figura 5. Variación mensual de los grados de saturación de calcita y aragonita, pH (5A), fugacidad y presión parcial del dióxido de carbono (5B)carbonato en aguas del Golfo de Cariaco.

El análisis de componentes principales ACP (Fig.6) muestra que los dos primeros componentes tienen el 74% de la variabilidad de los datos, siendo el componente 1 (C1=53%) el de mayor variabilidad para explicar las variaciones observadas en la distribución de los diferentes parámetros fisicoquímicos. En el componente C1, se correlacionan positivamente entre sí los nutrientes nitrogenados, de silicio con la clorofila a y el oxígeno disuelto lo hacen inversamente con la temperatura, la salinidad y el pH; eso es indicativo de que las aguas más frías, menos salinas y más ácidas que provienen de la surgencia, están enriquecidas en nutrientes provenientes de la degradación de la materia orgánica e incrementan la concentración de clorofila a y esta a su vez, contribuye a elevar la concentración de oxígeno disuelto durante algunos meses a través de los procesos fotosintéticos. La asociación positiva entre clorofila a y silicatos es indicativo del desarrollo de diatomeas, ya que estas especies incorporan el silicio en sus estructuras. Las

correlaciones entre, temperatura con los nutrientes y clorofila fueron:  $r = -0,75$ ;  $r = 0,78$ ;  $r = -0,54$  con clorofila a, compuestos de nitrógeno y silicatos respectivamente (Tabla 3). Esta misma correlación se evidencia también en el componente C2. En C1 también se correlacionan entre sí positivamente CT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $^*\text{CO}_2$ ,  $\text{fCO}_2$  y  $\text{pCO}_2$  y de manera inversa con t, S y pH; esto indica que las aguas más frías están enriquecidas con estos compuestos y que el ion bicarbonato contribuye con una mayor proporción al CT en relación con bicarbonato que aparece ubicado ortogonalmente en C1. CT su vez contribuye a una mayor fugacidad cuando las aguas frías emergen hacia la superficie ( $r = >0,90$ ). El pH aparece opuesto a  $\text{HCO}_3^-$  y  $^*\text{CO}_2$  lo cual es indicativo de que el incremento en estas dos especies contribuyen a amortiguar los valores del pH, especialmente manteniéndolos más bajos

La alcalinidad total también se correlaciona positivamente con bicarbonato en el componente C1, mostrando la gran dependencia de sus valores con el ion bicarbonato. AT y S aparecen de lados opuestos indicando que el descenso de la salinidad hace decrecer los valores de AT, ya que las variaciones de la salinidad afectan los valores de AT,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $r = -0,70$ ;  $r = -0,63$ ;  $r = 0,52$  respectivamente; Tabla 2) y los de del carbonato ( $r = 0,52$ ). En el componente C2 los grados de saturación de calcita y aragonito se correlacionan positivamente entre sí, ya que la saturación depende directamente de la concentración de los carbonatos; la clorofila a y carbonatos aparecen positivamente en el mismo lado de C2 indicando que parte del fitoplancton, especialmente cocolitoforidos capta el carbonato para construir sus estructuras; t, S y pH aparecen de manera inversa a los grados de saturación y carbonatos indicando que las aguas frías presentan menor concentración de carbonatos y saturación los cuales son afectados negativamente por los cambios de pH, especialmente por los pH más bajos.



Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson para los para parámetros hidrográficos e hidroquímicos en aguas del Golfo de Cariaco; (NT=nitrato+nitrato+amonio).

	O <sub>2</sub>	Chla	t	S	NT	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Si(OH) <sub>4</sub>	fCO <sub>2</sub>	pCO <sub>2</sub>	WCa	WArag	AT	TC	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	pH	*CO <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	1	0,22	-0,37	-0,07	0,38	0,36	0,44	0,06	0,06	0,05	0,04	-0,08	-0,07	-0,06	0,04	-0,50	0,06
Chla	0,22	1,00	-0,75	-0,68	0,75	0,48	0,57	0,10	0,10	-0,11	-0,11	0,26	0,22	0,19	-0,14	-0,19	0,11
t	-0,37	-0,75	1,00	0,72	-0,78	-0,30	-0,54	-0,35	-0,35	0,27	0,27	-0,46	-0,41	-0,38	0,30	0,40	-0,35
S	-0,07	-0,68	0,72	1,00	-0,38	-0,47	-0,25	-0,50	-0,50	0,48	0,48	-0,70	-0,68	-0,63	0,52	0,16	-0,51
NT	0,38	0,75	-0,78	-0,38	1,00	0,18	0,39	0,00	0,00	-0,02	-0,03	0,05	0,06	0,05	-0,04	-0,22	0,00
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,36	0,48	-0,30	-0,47	0,18	1,00	0,23	0,43	0,43	-0,43	-0,43	0,27	0,44	0,45	-0,44	-0,05	0,43
Si(OH) <sub>4</sub>	0,44	0,57	-0,54	-0,25	0,39	0,23	1,00	0,10	0,10	0,03	0,03	0,09	0,02	0,00	0,02	-0,55	0,11
fCO <sub>2</sub>	0,06	0,10	-0,35	-0,50	0,00	0,43	0,10	1,00	1,00	-0,97	-0,97	0,47	0,93	0,96	-0,97	-0,09	1,00
pCO <sub>2</sub>	0,06	0,10	-0,35	-0,50	0,00	0,43	0,10	1,00	1,00	-0,97	-0,97	0,47	0,93	0,96	-0,97	-0,09	1,00
WCa	0,05	-0,11	0,27	0,48	-0,02	-0,43	0,03	-0,97	-0,97	1,00	1,00	-0,41	-0,93	-0,97	1,00	-0,06	-0,97
WArag	0,04	-0,11	0,27	0,48	-0,03	-0,43	0,03	-0,97	-0,97	1,00	1,00	-0,41	-0,93	-0,97	1,00	-0,06	-0,97
AT	-0,08	0,26	-0,46	-0,70	0,05	0,27	0,09	0,47	0,47	-0,41	-0,41	1,00	0,71	0,63	-0,43	-0,41	0,48
TC	-0,07	0,22	-0,41	-0,68	0,06	0,44	0,02	0,93	0,93	-0,93	-0,93	0,71	1,00	0,99	-0,94	-0,10	0,93
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,06	0,19	-0,38	-0,63	0,05	0,45	0,00	0,96	0,96	-0,97	-0,97	0,63	0,99	1,00	-0,97	-0,05	0,96
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,04	-0,14	0,30	0,52	-0,04	-0,44	0,02	-0,97	-0,97	1,00	1,00	-0,43	-0,94	-0,97	1,00	-0,06	-0,97
pH	-0,50	-0,19	0,40	0,16	-0,22	-0,05	-0,55	-0,09	-0,09	-0,06	-0,06	-0,41	-0,10	-0,05	-0,06	1,00	-0,09
*CO <sub>2</sub>	0,06	0,11	-0,35	-0,51	0,00	0,43	0,11	1,00	1,00	-0,97	-0,97	0,48	0,93	0,96	-0,97	-0,09	1,00

En negrita, valores significativos (fuera diagonal) al umbral alfa=0,050 (prueba bilateral)

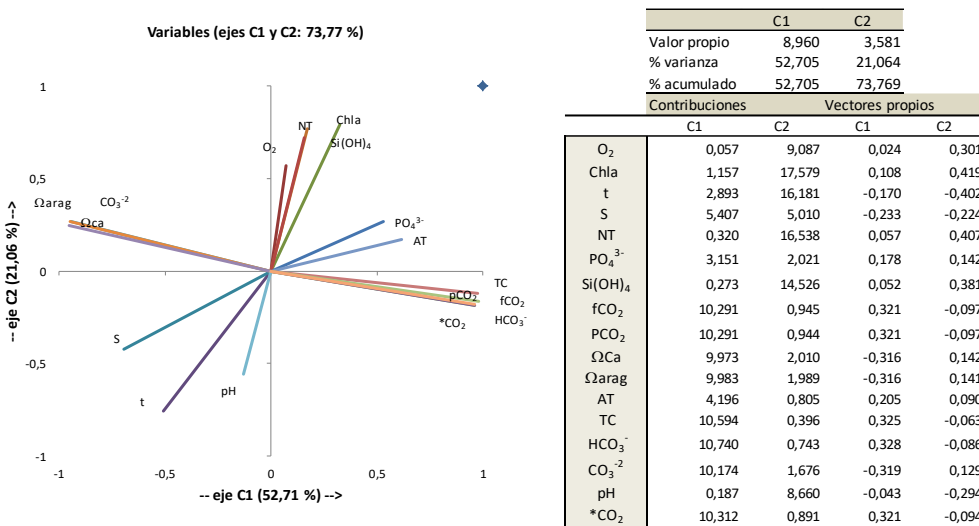


Figura 6. Representación gráfica del análisis de componentes principales aplicados a los parámetros del sistema carbónico en aguas del Golfo de Cariaco.

## DISCUSIÓN

Las aguas de la región nororiental de Venezuela de sufren una fuerte temporada cambios en las condiciones del océano superior causados por la migración de los la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sobre el ecuador (Muller-Karger y Aparicio, 1994). La ZCIT está en su posición más al sur en el hemisferio norte durante el invierno y la primavera, en la que las precipitaciones tiempo son menores, y los fuertes vientos del este causan una intensa surgencia costera a lo largo de la costa venezolana, especialmente entre finales de diciembre y abril, con un segundo pico en el mes de julio. Durante el verano y principios del otoño, la ZCIT se desplaza hacia el norte. Esto conduce a una disminución de los vientos Alisios y en la surgencia costera, así como un aumento en las precipitaciones en la zona norte de Venezuela (Tunnel et al., 2004). En Venezuela los primeros estudios que muestran en conjunto, la variación de los perfiles verticales y temporales de todos los parámetros del sistema carbónico en aguas marinas, fue realizado por Márquez (2015) en la Fosa de Cariaco, sin embargo el presente trabajo representa la primera investigación realizada en zonas de cultivo de Mitilidos. En la en la Fosa de Cariaco, el autor reportó que todos los perfiles de este sistema se adaptan al comportamiento vertical que

deben exhibir estos parámetros en los océanos, en especial en zonas neríticas profundas y en las pelágicas e hiperpelágicas. La distribución de estos perfiles tienen características de incrementos en la superficie y descensos con la profundidad para las concentraciones del el ion carbonato, grados de saturación de calcita - aragonito, y pH; mientras que los parámetros fugacidad y presión parcial del  $\text{CO}_2$  ( $f\text{CO}_2$ ,  $p\text{CO}_2$ ), alcalinidad total (AT), carbono inorgánico total (CT), ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) presentan una distribución inversa (descensos en superficie e incrementos con la profundidad).

Los parámetros hidrográficos, hidroquímicos y componentes del sistema carbónico, presentaron una fuerte variabilidad mensual, ocasionado en gran magnitud por la surgencia costera. El evento local de afloramiento de las aguas de fondo a la superficie que ocurre en el Golfo de Cariaco (profundidad promedio 50 m, longitud promedio de 56 km y anchura máxima de 14 km, con una anchura de 3 km en su área de contacto con el Mar Caribe), está relacionado con los vientos Alisios y la topografía de la zona. La profundidad máxima en este golfo es de 90 m y presenta un levantamiento en su entrada con profundidad de 60 m, lo cual limita el intercambio con aguas exteriores al golfo. En el Golfo de Cariaco, el agua de superficie es transportada hacia afuera por los vientos dominantes y subsiguientemente reemplazadas por aguas frías, ricas en nutrientes provenientes de la vecina Fosa de Cariaco (Okuda *et al.*, 1978). Es por esta situación que lo observado en los patrones de distribución de todos estos parámetros, son similares a los apreciados en las aguas de superficie de la vecina Fosa de Cariaco.

Durante la estación de los vientos Alisios, la biomasa fitoplanctónica se incrementó debido al aporte de nutrientes, lo cual conduce a una incorporación del carbono en las estructuras, mostrando la interconexión entre la dinámica del carbono y los nutrientes. Esta situación se invierte durante la segunda parte del año y la producción es entonces menor llegando a ser en algunos casos indetectada. En el Golfo de Cariaco los valores determinados de nutrientes y concentraciones clorofila a, son comparables para otras regiones de la región nororiental de Venezuela. En años recientes se ha confirmado cambios en la dinámica de los flujos totales de las diatomeas, y en su composición, debidos a cambios temporales en la dirección de los vientos Alisios, los cuales cambian las condiciones hidrográficas superficiales en corto tiempo, y también por el evento de EL NIÑO, cambian la disponibilidad de nutrientes (Tunnell *et al.*, 2004; Scranton

et al. 2006 Romero et al., 2008). Todos estos mecanismos apreciados en esta en las aguas del Golfo de Cariaco, los cuales incluyen procesos físicos de circulación de las aguas, fisicoquímicos que abarcan incorporación y transformación de las especies de los distintos nutrientes nitrogenados, fosforados y de silicio, se interconectan y juegan un rol importante en la distribución de los diferentes componentes del sistema carbónico.

Las relaciones apreciadas entre anomalía de densidad, salinidad y temperatura, indican que la estratificación de las aguas están más influenciadas por los cambios de temperatura en relación con los cambios de salinidad. Todas las asociaciones observadas en los ACP de los parámetros hidrológicos, nutrientes y sistema carbónico, evidencian que las aguas de surgencia poseen bajas temperaturas, y están cargadas en nutrientes, los cuales son utilizados por el fitoplancton para fijar carbono durante la fotosíntesis en forma de carbono inorgánico, formar materia orgánica particulada, y producir una elevación de los valores de oxígeno disuelto en algunos meses. Las concentraciones de oxígeno disuelto están correlacionadas de manera contraria con la utilización aparente de oxígeno, esto indica fotosíntesis en las aguas más superficiales en algunos meses y degradación de materia orgánica que se superpone a los procesos fotosintéticos en la mayoría de los meses. La zona de estudio, no se comporta como un ecosistema netamente autótrofo, generalmente en un ecosistema autótrofo neto donde la fotosíntesis es mayor que la respiración, caso de la Ensenada de Turpialito la absorción de  $\text{CO}_2$  por la fotosíntesis excede el producido por la mineralización, lo que aumenta el pH, la concentración de iones de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y  $\Omega_{\text{Arag}}-\Omega_{\text{Ca}}$ , y disminuye el carbono inorgánico disuelto ( $\text{TCO}_2$ ) y ( $\text{pCO}_2$ ) o presión parcial de  $\text{CO}_2$ , (Yang et al., 2023). En la zona de estudio el comportamiento tiende a ser inverso, ya que está controlado por la surgencia y la relajación de la misma. En los sistemas costeros, de manera general los niveles de nutrientes pueden ser altos, lo que favorece el crecimiento de fitoplancton, y así eliminación de  $\text{CO}_2$  del agua disminuyendo la fugacidad en las aguas de superficie (Gago et al, 2003).

La concentración de carbono inorgánico total, bicarbonato alcalinidad total y  $\text{CO}_2^*$  la alcalinidad total, son mayores en las aguas de menor temperatura, debido a la surgencia costera; lo mismo ocurre con la fugacidad y la presión parcial del dióxido de carbono. Los gases y en especial las concentraciones del  $\text{CO}_2$  tienen

una dependencia con la temperatura de acuerdo a lo que señala la ley de Henry, sobre la dependencia de la mayor solubilidad a menores temperaturas. Los grados de saturación de calcita y aragonito, junto a carbonato y el pH, se distribuyen de manera contraria, es indicativo que las aguas de superficie durante la surgencia costera están menos saturadas en carbonato, con respecto al período de relajación de la surgencia. La concentración de carbonatos, y los valores de los grados de saturación disminuyen durante los meses de surgencia costera, sin embargo la saturación es  $>1$  durante todo el año, lo cual hace a estas aguas ideales para el cultivo de metilidos; comportándose el sistema como un sumidero de carbono inorgánico (carbonatos) hacia los sedimentos. Durante los meses de surgencia costera, la concentración del carbono inorgánico total, la alcalinidad, dióxido de carbono disuelto en agua, ácido carbónico, fugacidad y presión parcial del dióxido de carbono, y bicarbonatos se incrementan debido al aporte de las aguas que afloran desde el fondo, haciendo que la zona de estudio actúe como una fuente de  $\text{CO}_2$  hacia la atmosfera, especialmente durante los meses de surgencia

En el océano, la mayoría del carbonato de calcio biogénico es precipitado por el plancton de superficie en forma de conchas microscópicas llamadas caparazones. Una significativa, pero mucha menor fracción, es precipitada también por protozoos que viven bajo la zona eufótica. La forma, tamaño, mineralogía, y densidad de sus caparazones es única. Parcialmente como resultado de estas diferencias entre especies, los caparazones no se preservan por igual y son remineralizados de maneras diferentes. Los cocolitoforidos y foraminíferos están compuestos de calcita mineral, mientras que las partes duras de terópodos están hechas de aragonito. Estos minerales tienen distintas estructuras cristalinas siendo el aragonito más soluble que la calcita (Libes, 2000). En el caso de los sedimentos, la preservación del carbonato de calcio está controlada por procesos termodinámicos y cinéticos que determinan el grado al cual los caparazones se disuelven en océano profundo (Álvarez, 1998). En equilibrio, la tasa de disolución del  $\text{CaCO}_3$  es igual a su tasa de precipitación (Sarmiento y Gruber, 2006); de igual manera las aguas más profundas son más corrosivas están cargadas en bicarbonato, lo cual ayuda a incrementar la alcalinidad total en conjunto con la fijación de materia orgánica. Termodinámicamente, la disolución del carbonato cálcico no está favorecida donde haya sobresaturación, es decir donde  $\Omega > 1$ . Sin embargo, el descenso del

pH asociado a la mineralización de la materia orgánica reduce las concentraciones del ión carbonato ( $[\text{CO}_3^{2-}]$ ) y, por consiguiente, el producto  $[\text{Ca}^{2+}] * [\text{CO}_3^{2-}]$  disminuyendo el valor de saturación de la calcita y aragonito ( $\Omega$ ) por debajo de 1. Por otra parte, la solubilidad de  $\text{CaCO}_3$  aumenta con la presión debida que incrementan las constantes de disociación de la calcita y el aragonito (Álvarez, 1998). La producción biológica en las aguas superficiales de la Ensenada de Turpialito, aunada al consumo de carbono inorgánico disuelto y variaciones del pH, condujo a las variaciones del ión carbonato, y en el valor de  $\Omega$  de calcita y aragonito. Debido a que la aragonito es más soluble que la calcita la saturación en  $[\text{CO}_3^{2-}]$  es siempre mayor que para calcita (Sarmiento y Gruber, 2006; Yang et al., 2021), tal situación es confirmada en las aguas de la Ensenada de Turpialito. De acuerdo a lo planteado teóricamente, si  $\Omega$  es mayor que 1, la masa de agua está supersaturada y el carbonato de calcio precipitará espontáneamente hasta que las concentraciones de los iones disminuyan a niveles de saturación, por el contrario, si  $\Omega$  menor que 1, la masa de agua estará insaturada. Por lo tanto si hay  $\text{CaCO}_3$ , se disolverá espontáneamente hasta que el producto del ión aumente a un valor de saturación apropiado. El grado de saturación ( $\Omega$ ) puede ser usado para predecir la distribución geográfica de carbonatos sedimentarios; por ejemplo, los sedimentos bajo agua con  $\Omega$  menor que 1 deberían estar libres de calizas calcáreas y viceversa (Sarmiento y Gruber 2006).

Las aguas del Golfo de Cariaco y en especial las de la Ensenada de Turpialito presentan niveles de saturación del carbonato de calcio de  $\Omega_{\text{calcita}}$  y  $\Omega_{\text{aragonito}} > 1$ , lo cual las hacen excelente para los cultivos de Mitilidos y pectínidos que pueden desarrollarse en esa zona. Estos resultados son diferentes a los reportados para otras zonas de Suramérica como en la Patagonia norte, Chile donde se determinó que el estado de saturación del carbonato de calcio dentro del área de estudio fue bajo (aragonito  $< 2$ ), inclusive con aguas superficiales corrosivas para el  $\text{CaCO}_3$  (i.e., aguas subsaturadas,  $\Omega < 1$ ), cuando aguas de baja salinidad ( $< 28 \text{psu}$ ) y alcalinidad total fueron menores a  $1.800 \mu\text{mol/kg}$  (Alarcón et al., 2015). En aguas costeras existe una amplia variedad de procesos locales que tienen el potencial de reducir el estado de saturación del carbonato de calcio (i.e., eutrofización, descarga de ácidos desde relaves mineros, descarga de ríos de baja alcalinidad, etc.) y sus efectos se suman a los asociados a estresores globales como la acidificación del océano. La reducción del pH y estado de saturación del carbonato de calcio en el mar debido al ingreso de  $\text{CO}_2$

“antropogénico” al océano se conoce como acidificación oceánica (Orr *et al.*, 2005; Alarcón *et al.* 2015). En Región del Gran Caribe (RGC), se ha determinado que existe una considerable variabilidad en la saturación del carbonato, de manera espacial- temporal, y que hay una fuerte disminución secular en el estado de saturación de aragonito ( $\Omega_{Arag}$ ) a una tasa de aproximadamente  $0,012 \pm 0,001 \Omega_{Arag}/año$  (Gledhill *et al.*, 2008). Estas observaciones le dan más relevancia a los resultados presentados en esta investigación en el Golfo de Cariaco.

## CONCLUSIONES

La surgencia costera que ocurre en la región nororiental de Venezuela, tiene una marcada influencia en la variación estacional del sistema carbónico y en el grado de saturación de calcita y aragonito en las aguas del golfo de Cariaco.

Durante los meses de surgencia las aguas más frías, menos salinas y más ácidas proporcionan una mayor concentración de nutrientes, las cuales incrementan los valores de clorofila *a*, contribuyendo a la incorporación del carbono inorgánico a la estructura de los organismos, especialmente diatomeas.

La concentración de carbonatos, y los valores de los grados de saturación disminuyen durante los meses de surgencia costera, sin embargo la saturación es  $>1$  durante todo el año, lo cual hace a estas aguas ideales para el cultivo de Metilidos y Pectinidos. Por otra parte la zona de estudio actúa como un sumidero de carbonatos hacia los sedimentos ( $\Omega > 1$ ).

La concentración del carbono inorgánico total, la alcalinidad, dióxido de carbono disuelto en agua, ácido carbónico, fugacidad y presión parcial del dióxido de carbono, y bicarbonatos se incrementan debido al aporte de las aguas que afloran desde el fondo., haciendo que la zona actúe como una fuente de  $CO_2$  hacia la atmósfera, especialmente durante los meses de surgencia costera.

## REFERENCIAS

- Alarcón E., Valdés N., Torres R. (2015). Saturación del carbonato de calcio en un área de cultivo de Mitílicos en el Seno Reloncaví, Patagonia norte, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(2): 277-281.
- Álvarez X. (1998). Ciclos biogeoquímicos en sistemas marinos. Tesis de Doctorado en. Ecología. Universidad de Vigo, España. 90 pp.
- Aminot A., Chaussepied M. (1983). Dosage del' Oxygéne dissous. En: *Manuel des Analyses Chimiques en milieu Marin*. Centre National Pour L'Exploitation des Oceans, IN: Aminot, A & M. Chaussepied (Ed), France. CNEXO.125 pp.1998
- Bates N.R., Astor Y.M., Church M.J., Currie K., Dore J.E., González-Dávila M. (2014). A time-series view of changing surface ocean chemistry due to ocean uptake of anthropogenic CO<sub>2</sub> and ocean acidification. *Oceanography*, 27: 126–141.
- Bendschneider K., R. Robinson. 1952. A new spectrophometric determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, 11:87-96.
- Cai W.J., Hu X., Huang W.J., Murrell M.C., Lehrter J.C., Lohrenz, S.E. (2011). Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nature Geoscience*, 4:766–770.
- Dai M., Lu Z., Zhai W., Chen B., Cao Z., Zhou K, Cai W. Arthur C.T. (2009). Diurnal variations of surface seawater pCO<sub>2</sub> in contrasting coastal environments. *Anglais*, 54, 735–745.
- Dlugokencky E.J., Mund J.W., Crotwell A.M., Crotwell M.J., Thoning K.W. (2021). Atmospheric Carbon Dioxide Dry Air Mole Fractions from the NOAA GML Carbon Cycle Cooperative Global Air Sampling Network, 1968-2020, Version: 2021-07-30.
- Fofonoff N.P., Millard R.C. (1983). Algorithms for computations of fundamental properties of seawater. UNESCO. Technical Papers in Marine Science, 44: 53 pp.



- Gago J., Gilcoto M., Pérez F. F., Ríos A. F. (2003). Short-term variability of fCO<sub>2</sub> in seawater and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in a coastal upwelling system (Ría de Vigo, NW Spain). *Marine Chemistry*, 80: 247-264
- Gledhill D.K., Wanninkhof R., Millero F. J., Eakin M. (2008). Ocean acidification of the Greater Caribbean Region 1996–2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, C10031, doi:10.1029/2007JC004629.
- Huang W.J., Cai W.J., Hu X. (2021). Seasonal Mixing and Biological Controls of the Carbonate System in a River-Dominated Continental Shelf Subject to Eutrophication and Hypoxia in the Northern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 8:621243. doi: 10.3389/fmars.2021.621243
- Johnson R.A., Wichern D.W. (1992). *Applied multivariate statistical analysis*, Third Edition. Prentice Hall International Editions. New York, USA. 156 pp.
- Kerr D.E., Brown P.J., Grey A., Kelleher B.P. (2021). The influence of organic alkalinity on the carbonate system in coastal waters. *Marine Chemistry*, 237: 104050.
- Koroleff F. (1976). Determination of nutrients. In: *Methods of Seawater Analysis*, K. Grasshoff (Ed), Weinheim Germany; New York, Verlag Chemie. 460 pp
- Land P.E., Findlay H.S., Shutler J. D., Piolle J.F, Sims R., Green H., Kitidis V., Polukhin A.I., Pipko. I. (2023) Ocean SODA-MDB: a standardised surface ocean carbonate system dataset for model–data intercomparisons. *Earth System Science Data*, 15: 921–947. <https://doi.org/10.5194/essd-15-921-2023>
- Lewis E., Wallace D. (1998). Program developed for CO<sub>2</sub> system calculations. Carbon Dioxide Information Analysis Center, managed by Lockheed Martin Energy Research Corporation for the US Department of Energy Tennessee. 65pp.
- Libes (2000). *An introduction to marine biogeochemistry*. Second Edition. AP Editions. New York, USA. 760 pp.
- Lorenzen C. J. (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13: 223-227.

- Márquez, A. 2015. Dinámica de nutrientes y del sistema carbónico en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco, Venezuela. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 192pp.
- Muller-Karger F., Aparicio R. (1994). Mesoscale Processes Affecting Phytoplankton Abundance in the Southern Caribbean Sea. *Continental Shelf Research*, 14: (2/3).199-221.
- Mullin J., Riley J. (1955). The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-170.
- Murphy J., Riley J. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 12:162-170.
- Okuda T., García A., Bonilla J., Cedeño G. (1978). Características hidrográficas del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 17: 69-88.
- Orr C., Victoria J., Olivier A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437, 681–686.
- Pérez F.F., Fraga F. (1987). A precise and rapid analytical procedure for alkalinity determination. *Marine Chemistry*, 21: 169–182.
- Romero O., Thunell RC., Astor Y.M., Varela R. (2008). Seasonal and interannual dynamics in diatom production in the Cariaco Basin, Venezuela. *Deep Sea Research I*, 56: 571-581
- Sarmiento J.L., Gruber N. (2006). *Ocean biogeochemical dynamics*. Princeton, Woodstock: Princeton University Press, USA. 503 pp.
- Scranton M., McIntyre M., Astor Y.M., Taylor R., Muller-Karger F., Fanning K. (2006). Temporal variability in the nutrient chemistry of the Cariaco basin. IN. N. Neretin (Ed). *Past and present water column anoxia*, Springer. Netherlands. 139-160 pp.

- Semidey D., Márquez A., Lodeiros C. (2010). Crecimiento y supervivencia de la madre perla *Pinctada imbricata* (Röding 1798), bajo condiciones de cultivo suspendido, en cuerdas y cestas perleras. *Zootecnia Tropical*, 28(4): 521-533.
- Strickland J., Pearson T. (1972). *A practical Handbook of seawaters Analysis*, 2Ed. Bulletin - Fisheries Research Board of Canada. 167 pp.
- Treguer P., Le Corre P.. 1975. *Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau demer. Utilization de l' Auto-Analyzer II*. Techicon. LOC-UBO. 2Ed. 110 pp.
- Thunell R., Sigman D., Muller-Karger F., Astor Y.M., Varela R. (2004). Nitrogen isotope dynamics of the Cariaco Basin, Venezuela. *Global Biogeochemical Cycles*, 18:1-13.
- UNESCO (1986). *Progress on Oceanographic Tables and Standards 1983–1986. Work and recommendations of the UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel. UNESCO Technical Papers in Marine Science*, 50: 59 pp. [https://www.jodc.go.jp/info/ioc\\_doc/UNESCO\\_tech/046148eb.pdf](https://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/UNESCO_tech/046148eb.pdf).
- Yang B., Zhang Z., Cui Z., Xie Z., Chen B., Zheng H., Liao B., Zhou J., Xiao B. (2023). Multiple Factors Driving Carbonate System in Subtropical Coral Community Environments along Dapeng Peninsula, South China Sea. *Atmosphere*, 14:688. <https://doi.org/10.3390/atmos14040688>.
- Yang W., Guo X., Cao Z., Xu Y., Wang L, Guo L., Dai M. (2021). Seasonal dynamics of the carbonate system under complex circulation schemes on a large continental shelf: The northern South China Sea. *Progress in Oceanography*, 197: 102630.
- Zeebe R., Wolf-Gladrow D.. 2001. *CO<sub>2</sub> in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes*. Elsevier Oceanography Series, 65: 346.

# Concentración de metales en el músculo del tiburón azul *Prionace glauca* y evaluación de riesgo para la salud en Patagonia Norte, Argentina

## Metal concentration in the muscle of the Blue Shark *Prionace glauca* and health risk assessment in Northern Patagonia, Argentina

Aimé I. Funes<sup>1,2</sup>, Edgardo Intrieri<sup>3</sup>,  
Jorge E. Marcovecchio<sup>4</sup>, Andrea D. Tombari<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica,  
Viedma, Río Negro, Argentina.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Transferencia (CONICET-UNRN),  
Viedma, Río Negro, Argentina

<sup>3</sup> Fundación Lafkenche, Viedma,  
Río Negro, Argentina.

<sup>4</sup> Instituto Argentino de Oceanografía (IADO),  
Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Aimé I. Funes  [afunes@unrn.edu.ar](mailto:afunes@unrn.edu.ar)

Palabras clave |  
Metal pesado,  
salud humana,  
*Prionace glauca*,  
Argentina

**RESUMEN** | La contaminación marina por metales pesados tiene su origen en las descargas cloacales, los desechos mineros, agrícolas y en la actividad industrial. Es bien conocido el impacto de estos contaminantes sobre la fauna marina y su gran bioacumulación en tiburones, convirtiéndolos en especies centinelas de la contaminación marina. El tiburón azul, *Prionace glauca*, es una especie pelágica, oceánica y altamente migratoria, con una gran dispersión geográfica. Desempeña un papel importante en las redes tróficas marinas como depredador tope, alimentándose de calamares, atunes y otros peces. Además, esta especie presenta importancia comercial debido al gran consumo de su carne. El objetivo de este trabajo fue determinar las concentraciones de As, Fe, Cd, Cu, Zn y Pb en el músculo de esta especie y sus posibles riesgos para la salud

humana. El lugar del hallazgo se ubica en una zona denominada Corvinero (40°51'45.93"S; 62°18'22.49"W), provincia de Buenos Aires, Argentina. El espécimen fue encontrado muerto y en buen estado de conservación. El mismo fue identificado como hembra, la longitud total fue de 210 cm y la edad estimada es de aproximadamente 5 años. Los resultados promedios (mg/kg en peso húmedo) encontrados fueron: 2.52 As, 33.02 Fe, <0.25 Cd, <0.25 Pb, 9.49 Zn, 0.55 Cu. Este trabajo es el primero en análisis de metales en *P. glauca* en Argentina. A lo largo de la costa argentina solo se han registrado 7 ejemplares muertos de tiburón azul, lo que representa muy poco acceso a la información sobre la biología de la especie en el país. Debido a esto es necesario intensificar políticas de monitoreo, conservación y manejo en esta especie de valor comercial, catalogada como casi amenazada por la UICN.

Keywords |  
Heavy metal,  
human health,  
*Prionace glauca*,  
Argentina

**ABSTRACT** | Marine pollution from heavy metals originates from sewage discharges, mining waste, agricultural runoff, and industrial activities. The impact of these pollutants on marine fauna is well-known, with significant bioaccumulation in sharks, making them sentinel species for marine pollution. The blue shark, *Prionace glauca*, is a pelagic, oceanic, and highly migratory species with a wide geographic distribution. It plays a crucial role in marine food webs as a top predator, feeding on squid, tuna, and other fish. Additionally, this species holds commercial importance due to the high demand for its meat. The objective of this study was to determine the concentrations of As, Fe, Cd, Cu, Zn, and Pb in the muscle of this species and assess potential risks to human health. The specimen was found in an area called Corvinero (40°51'45.93"S; 62°18'22.49"W), Province of Buenos Aires, Argentina. The specimen, identified as a female, was discovered dead and in good condition, with a total length of 210 cm and an estimated age of approximately 5 years. The average results (mg/kg wet weight) were 2.52 As, 33.02 Fe, <0.25 Cd, <0.25 Pb, 9.49 Zn, and 0.55 Cu. This study represents the first analysis of metal concentrations in *P. glauca* in Argentina. Along the Argentine coast, only 7 dead specimens of the blue shark have been recorded, providing limited information on the species' biology in the

country. Therefore, there is a need to enhance monitoring, conservation, and management policies for this commercially valuable species, classified as near-threatened by the IUCN.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación marina por metales pesados tiene su origen en las descargas cloacales, los desechos mineros y agrícolas, y en la actividad industrial (Baoshan Cui et al., 2011). Una vez en el ambiente, los metales pesados son ingeridos o captados por los organismos, acumulados en sus tejidos y estos se biomagnifican dentro de las redes tróficas. Ejemplo de ello son los tiburones, depredadores ubicados en el tope de las redes tróficas, lo que ha llevado a caracterizarlos como especies centinelas de la contaminación marina (Milenkovic et al., 2019; Alves et al., 2023).

En el caso particular del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), que es una especie oceánica, epipelágica y migratoria. Su distribución corresponde a aguas tropicales, subtropicales y templadas de todos los océanos, entre los 62° N y los 54° S (Litvinov, 2006). Taxonómicamente pertenece al orden Carcharhiniformes y a la familia Carcharhinidae. Este grupo se caracteriza por un lento crecimiento, madurez tardía y baja fecundidad (Worm et al., 2013). Presenta una longevidad de 16-20 años y un tamaño máximo de 383 cm longitud total (LT), alcanzando la madurez en torno a los 220 cm de LT, a los 4-6 años de edad (Rendal Freire, 2016). Esta especie desempeña un papel importante en las redes tróficas marinas como depredador tope, alimentándose de calamares, atunes y otros peces. Además, presenta importancia comercial debido al gran consumo de su carne, especialmente en España, que es una de las tres mayores exportadoras de aletas de tiburón al mercado asiático (FAO, 2014). Sólo en el Océano Atlántico se comercializan, anualmente, alrededor de 60.000 t, de las cuáles unas 40.000 corresponden a esta flota española (ICCAT, 2015). Dadas las características antes detalladas y los pocos o nulos antecedentes de la especie en nuestras costas, el objetivo del presente trabajo fue determinar las concentraciones de Arsénico (As), Hierro (Fe), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) en el músculo de *P. glauca* y sus posibles riesgos para la salud humana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El área de estudio está ubicada en el extremo sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta zona presenta un perímetro aproximado de 180 km de costa continental e insular, donde se distinguen tres ecosistemas característicos: marismas; planicies de marea y playas psamíticas (Fiori & Carbone 2006). Desde la perspectiva oceanográfica, esta área forma parte del sistema costero denominado El Rincón (38°- 41°S), un frente termo-halino formado por las aguas costeras diluidas provenientes de la descarga de los ríos Negro y Colorado, y las aguas salinas de la plataforma (Acha *et al.*, 2004; Lucas *et al.*, 2005). Este frente representa una zona de gran productividad primaria que permite sostener etapas primordiales en el ciclo de vida (desove y cría) de las distintas especies de peces teleósteos y condriictios, permitiendo el desarrollo de pesquerías costeras y artesanales (Acha *et al.*, 2004; Falabella *et al.*, 2023). El lugar del hallazgo se ubica dentro de la zona costera de El Rincón, en un sitio denominado Corvinero (40°51'46" S; 62°18' 23"W) (Figura 1), utilizado por los pescadores para la pesca deportiva.



Figura 1. Área de estudio; el lugar del hallazgo esta individualizado con un punto amarillo

## Recolección de Muestra

El 24 abril de 2021 pobladores de la zona encontraron, en El Corvintero, un ejemplar de *Prionace glauca* muerto, siendo las causas de su muerte desconocidas. El espécimen (Figura 2) que se encontraba en buen estado de conservación, fue trasladado por pescadores, hasta el laboratorio donde se registró la longitud total (LT) en cm y el sexo. Para el análisis de metales, se tomó una muestra de tejido muscular del flanco izquierdo de la región dorsal.



Figura 2. Ejemplar de tiburón azul

## Metodología analítica

Submuestras de 0.5 g de tejido de músculo de tiburón azul de peso húmedo (ww), fueron pesadas empleando una balanza analítica SARTORIUS®. Para la digestión ácida de las muestras, se utilizaron 5 ml de HNO<sub>3</sub> Merck® 65% en tubos de ensayo que contenían las muestras, durante 24 h y para el blanco de tratamiento, solo con el ácido. Todas las extracciones se realizaron por duplicado y los blancos



se procesaron como muestras. Posteriormente se colocaron en un baño de glicerina ( $120 \pm 10$  °C) hasta que la digestión fuera completa (Abrameto, 2008; Ruelas Inzunza, 2010). Los extractos finales de 1 ml se transfirieron a un tubo de centrifuga y se añadió 0.7% de  $\text{HNO}_3$  hasta 10 ml. Las determinaciones de metales en todas las muestras se realizaron con un ICP-OES Agilent 720 (CENPAT-CONICET), y las concentraciones se expresaron en  $\mu\text{g g}^{-1}$  ww. Todo el material de laboratorio utilizado durante la recolección, manipulación de muestras y la determinación de metales se acondicionó de acuerdo con las regulaciones de la APHA (1998). Para el control de calidad se utilizaron reactivos de grado analítico y blancos de reactivo. El Límite de Cuantificación (LC) se calculó para cada metal multiplicando el valor del Límite de Detección (LD) por un factor de 3 con un nivel de confianza del 99 % (Nölte, 2021). El LC informado fue de  $0,25 \mu\text{g g}^{-1}$  para todos los metales en estudio.

### Análisis de datos

El Arsénico es un metaloide con efectos tóxicos en sus formas inorgánicas como As (III) y As (V), en el caso de los peces este elemento se acumula como arsenobetaina, una forma orgánica y no tóxica de As (Avigliano *et al.*, 2019; Souza-Araujo *et al.*, 2022) Para el análisis, se llevó a cabo un enfoque conservador para estimar el riesgo para la salud no carcinogénico y carcinogénico asociado con el consumo de carne de tiburón, infiriendo que la cantidad promedio de As inorgánico es el 10% del total según normas EPA (USEPA, 2000). Para la evaluación del riesgo, debido al consumo de músculo, seguimos el método descrito por Souza Araujo *et al.*, (2022) y se calculó la ingesta diaria estimada (EDI, Eq. 1).

$$\text{EDI} = (\text{te} \times \text{DC})/\text{BW} \quad (\text{Eq. 1})$$

Donde EDI ( $\mu\text{g}/\text{kgbw}/\text{día}$ ) es la ingesta diaria estimada; *te* es la concentración media del elemento ( $\mu\text{g g}^{-1}$  ww); DC es el consumo diario de pescado por la población argentina (13 g/día) y BW es el peso medio del cuerpo humano (70 kg para un adulto).

El cociente de peligro (HQ, Eq. 2) es el cociente de la exposición potencial a una sustancia en relación con el nivel en el cual no se esperan efectos adversos.

$$\text{HQ} = \text{EDI}/\text{RfD} \quad (\text{Eq. 2})$$

Donde el EDI se ha estimado anteriormente (Eq.1), y el RfD es la dosis de referencia oral ( $\mu\text{g}/\text{kgbw}/\text{día}$ ) para un elemento dado (0.3 para iAs, 40 para Cu, 300 para Zn y 70 para Fe). Si el valor de HQ es  $<1.0$ , es improbable que haya efectos adversos y el peligro se puede considerar insignificante.

El riesgo de cáncer objetivo (TR, Eq. 3) representa el riesgo carcinogénico

$$\text{CR} = \text{EDI} \times \text{CPSo} / 1000 \text{ (Eq. 3)}$$

Donde EDI es la ingesta diaria estimada (Eq. 1) y CPSo es la pendiente de potencia oral carcinogénica ( $1.5 \text{ mg}/\text{kgbw}/\text{día}$ ). Los riesgos carcinogénicos superiores a  $10^{-6}$  (la probabilidad de desarrollar cáncer a lo largo de la vida es 1 en  $> 1,000,000$ ) se consideran insignificantes, mientras que los riesgos que van desde  $10^{-4}$  hasta  $10^{-6}$  se consideran típicamente aceptables. Los valores inferiores a  $10^{-4}$  son inaceptables (Avigliano et al., 2019).

## RESULTADOS

El espécimen de tiburón azul fue identificado como hembra, debido a que en su morfología externa no se evidenció la presencia de claspers. La longitud total (LT) del individuo fue de 210 cm, estimando a partir de ese parámetro una edad aproximada de 5 años (Vignatti et al., 2018). Los resultados obtenidos se detallan en las tablas 1, 2 y 3.

**Tabla 1.** Concentración de metales (mg/kg) encontradas en muestras de músculo en diferentes estudios de *P. glauca*. LC: Limite de cuantificación:  $< 0,25 \text{ mg}/\text{kg}$ .

Referencias	n	As	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Al	Región
Este trabajo	1	2,52	33,02	<LC	0,55	<LC	9,49	-	-	Argentina
Vignatti (2018)	9	-	-	-	0,98	-	5,38	0,1	1,7	Brasil
Hauser-Davis et al. (2021)	5	60,1	3,9	-	0,6	0,1	7,8	0,5	1,5	N Atlántico
Alves et al. (2023)	20	8,9	2,5	-	0,2	0,7	2,9	0,1	30,1	N Atlántico
Olmedo et al. (2013)	11	-	-	-	0,14	-	1,95	-	-	N Atlántico
Vas (1991)	5	-	-	-	0,24	-	0	-	-	N Atlántico
Stevens & Brown (1974)	8	-	-	-	4,4	-	35	-	-	N Atlántico
Barrera- García (2012)	44	-	-	-	1,64	-	6,1	-	-	Pacífico

Tabla 2. Valores máximos permitidos según legislaciones nacionales e internacionales (mg/kg). FAO: Food and Agricultural Organization; CAA: Código Alimentario Argentino; OMS: Organización Mundial de la Salud; UE: Unión Europea.

Metal	Este trabajo	CAA	UE	FAO
Arsénico	2,52	1	0,1-0,3	1
Hierro	33,025			100
Cadmio	<LC	0,05	0,1	
Cobre	0,55	10	10	30
Plomo	<LC	0,3	0,1	0,5
Zinc	9,49	100		40

Tabla 3. Evaluación de riesgo para la salud humana debido al consumo de músculo pescado.

Índices	As10%	Fe	Cu	Zn
EDI	0,05	6,13	0,1	1,76
HQ	0,167	0,088	0,003	0,006
TR	$1 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-3}$

Abreviaturas: EDI, ingesta diaria estimada; HQ, cociente de riesgo; TR, riesgo de cáncer; As inorgánico: As10%. Si el valor de HQ es <1,0, los efectos adversos son poco probables y el peligro puede considerarse insignificante. Los TR superiores a  $10^{-6}$  (la probabilidad de desarrollar cáncer a lo largo de la vida es de 1 en > 1.000.000 se consideran insignificantes, mientras que los riesgos que oscilan entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  normalmente se consideran aceptables.

## DISCUSIÓN

Los metales en el tejido muscular del tiburón azul presentaron el siguiente patrón: Fe>Zn>As>Cu. Con respecto al Pb y el Cd, ambos se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método. Es importante destacar que el músculo se presenta como un indicador eficaz a la exposición crónica, ofreciendo datos relevantes para la evaluación de riesgos asociados al consumo humano (La Colla *et al.*, 2021).

Los resultados obtenidos fueron comparados principalmente con los autores Hauser- Davis (2021) y Alves *et al.*, (2023) (tabla 1), hallándose que el valor de As es inferior con respecto a estos autores. Para el caso del Zn y Cu son similares, mientras que para el Fe es superior.

Con respecto a la tabla 2, los valores hallados para metales no exceden los máximos permitidos para consumo humano. Sin embargo, el valor de Arsénico se encuentra por encima de las recomendaciones del Código Alimentario Argentino, la FAO (1mg/kg), y la Unión Europea (0,1-0,3 mg/kg) (Avigliano et al., 2019).

En la tabla 3 se encontró que los cocientes de riesgo calculados, se ubicaron por debajo del valor 1. Por lo tanto, el peligro podría considerarse como insignificante. Por último, los valores obtenidos para riesgo de cáncer son muy bajos para As10%.

## CONCLUSIONES

El tiburón azul es una especie catalogada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) como casi amenazada, a nivel global, debido a la disminución y fragmentación de sus poblaciones y por la baja proporción de individuos sexualmente maduros. Este decrecimiento es la consecuencia del gran comercio internacional de sus aletas y carne, en un contexto donde prácticamente no existe regulación de la explotación del recurso (IUCN, 2023).

En Argentina, son escasos los registros de ejemplares de tiburón azul, hallados muertos, lo que representa muy poco acceso a la información sobre la biología de la especie en el país. Por lo tanto, este trabajo representa la primera aproximación sobre la salud de *P. glauca* y los posibles riesgos para sus consumidores en la región. Debido a su estatus, es necesario intensificar políticas de monitoreo, conservación y manejo en esta especie de valor comercial.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Mariza Abrameto por su aporte inicial en este trabajo. Al Sr. Nestor Perfetti por la colaboración en la recolección del ejemplar. A la Universidad Nacional de Río Negro por su aporte económico a través del PI-UNRN 40-C-972 y PICT 0032-2020.

## REFERENCIAS

- Abrameto, M. (2008). Libro: Las fronteras de la física y química ambiental en Ibero América: ponencias completas del v congreso iberoamericano de física y química ambiental. Biomonitorio de Metales Pesados en tejidos de *Odonthestes microlepidotus* en la cuenca del río Negro, Argentina pp: 785-789 eds. Universidad N. de San Martín.
- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Guerrero, R. A., Favero, M., and Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America. *J. Mar. Syst.* 44, 83–105. doi: 10.1016/j.jmarsys.2003.09.005
- Alves L.M.F., Lemos M.F.L., Moutinho A.B., Ceia F.R., Muñoz-Arnanz J. , Begoña Jiménez B., Cabral H., Sara C. Novais S.C. (2023). Assessment of contaminants in blue sharks from the Northeast Atlantic: Profiles, accumulation dynamics, and risks for human consumers. *Environmental Pollution*, 316, 120467. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120467>
- APHA, 1998. In: Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. (Eds.), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, twentieth ed. American Public Health Association, Washington (USA)
- Avigliano, E., Maichak de Carvalho, B., Invernizzi, R., Olmedo, M., Jasan, R., & Volpedo, A. V. (2019). Arsenic, selenium, and metals in a commercial and vulnerable fish from southwestern Atlantic estuaries: distribution in water and tissues and public health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 7994–8006. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04258-3>
- Barrera-García, A., O'Hara, T., Galván-Magaña, F., Méndez-Rodríguez, L.C., Castellini, J.M., Zenteno-Savín, T. (2012). Oxidative stress indicators and trace elements in the blue shark (*Prionace glauca*) off the east coast of the Mexican Pacific Ocean. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.*, 156, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2012.04.003>.

- Baoshan Cui, Qijun Zhang, Kejiang Zhang, Xinhui Liu, Honggang Zhang. (2011). Analyzing trophic transfer of heavy metals for food webs in the newly-formed wetlands of the Yellow River Delta, China. *Environmental Pollution*, 159, 1297-1306.
- Falabella V., Acha M., Iribarne O., Fermepin S. y Campagna C. (2023). Biorregiones Marinas de la Argentina. Reporte Final. Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia, informe inédito. Buenos Aires, Argentina. 85 pp.
- FAO. (2014). Algunos problemas de la Pesca y la Acuicultura: Los retos constantes de la conservación y ordenación de los tiburones, p. 111-171. En: El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Oportunidades y desafíos. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fiori M., Carbone E. (2006). Los ambientes naturales de la Reserva de Usos Múltiples Bahía San Blas. IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. (Septiembre 2006).
- Hauser-Davis, R.A., Chavez Rocha, R.C., Saint'Pierre, T.D., Adams, D.H. (2021). Metal concentrations and metallothionein metal detoxification in blue sharks, *Prionace glauca* L. from the western North Atlantic OCEAN. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 126813. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126813>.
- ICCAT. (2015). Report of the 2015 ICCAT Blue Shark Stock Assessment Session. Oceanário de Lisboa, Lisbon, Portugal, July 21 to 31, 2015. <https://www.iccat.int/es/> (07/12/2023).
- IUCN. (2023). Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. <https://www.iucnredlist.org>.
- La Colla, N. S., Botté, S. E., Simonetti, P., Negrin, V. L., Serra, A. V., & Marcovecchio, J. E. (2021). Water, sediments and fishes: First multi compartment assessment of metal pollution in a coastal environment from the SW Atlantic. *Chemosphere*, 282, 131131. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131131>

- Litvinov, F. 2006. On the Role of Dense Aggregations of Males and Juveniles in the Functional Structure of the Range of the Blue Shark *Prionace glauca*. *Journal of Ichthyology*, 46(8), 613–624.
- Lucas, A. J., Guerrero, R. A., Mianzán, H. W., Acha, M. E., and Lasta, C. A. (2005). Coastal oceanographic regimes of the Northern Argentine continental Shelf (34-43S). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 65, 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.06.015>
- Milenkovic B, Jelena M. Stajic J.M., Stojic N., Pucarevic M., Strbac S. (2019). Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood products. *Chemosphere*, 229, 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.189>
- Nölte, J. (2021). *ICP Emission Spectrometry: A Practical Guide*. Editorial WILEY-VCH. Weinheim, Germany. 279 pp.
- Olmedo, P., Pla, A., Hernández, A. F., Barbier, F., Ayouni, L. y Gil, F. (2013). Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environ. Int.*, 59, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.05.005>.
- Rendal Freire, S. (2016). Descripción y Análisis de la Pesquería de tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), En El Océano Atlántico. Tesis de maestría. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España. 37pp.
- Ruelas-Inzunza, J. y Páez-Osuna, F. (2010). Essential (Cu) and nonessential (Cd and Pb) metals in ichthyofauna from the coasts of Sinaloa state (SE Gulf of California). *Environ. Monit Assess*, 162, 251-263.
- Stevens, J. D., & Brown, B.E., (1974). Occurrence of heavy metals in the blue shark *Prionace glauca* and selected pelagic in the N. E. Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, 26, 287–293. <https://doi.org/10.1007/BF00391512>.
- Vas, P. (1991). Trace metal levels in sharks from British and Atlantic waters. *Mar. Pollut. Bull.*, 22, 67–72. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(91\)90138-l](https://doi.org/10.1016/0025-326X(91)90138-l).

Vignatti, G., Schneider, V.S. y Poletto, M. (2018). Biological assessment and metals concentration in blue shark (*Prionace glauca*) caught in the southeast-south coast of Brazil. *Scienti. Cum. Industria*, 6, 7. <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v6iss3p7>

Worm, B., Davis, B., Kettener, L., Ward-Paige, C.A., Chapman, D., Heithaus, M.R., Kessel, S.T. and Gruber, S.H. (2013). Global catches, exploitation rates, and rebuilding options for sharks. *Marine Policy*, 40, 194-204.

Souza-Araujo, J., Hussey, N. E., Hauser-Davis, R. A., Henrique Rosa, A., Oliveira Lima, M. y Tommaso Giarrizzo, T. (2022). Human risk assessment of toxic elements (As, Cd, Hg, Pb) in marine fish from the Amazon. *Chemosphere*, 301, 134575. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134575>

USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2000). Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories. *Risk Assessment and Fish Consumption Limits*. vol. 2.



**XII Firma**  
**2023 online**





# Composición de la comunidad de fitoplancton en ambientes lénticos artificiales en la región urbana de Toledo, Paraná, Brasil

## Composition of the phytoplankton community in artificial lentic environments in the urban region of Toledo, Paraná, Brazil

Alice Viene Serra Garcia, Beatriz Rios,  
Karine Nascimento, Maiko Scheibel,  
Mayara Cristina Marcondes Viana, Paula Frassinetti da Silva Batista,  
Pauliana Leão de Souza, Sergio Mauricio Valelongo dos Santos,  
Daniel da Silva Ladislau

Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca,  
Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná, campus Toledo, rua Guaira, 3141, Jardim Santa Maria, 85903-220,  
Toledo, Paraná, Brazil.

Daniel da Silva Ladislau   danielladislau@gmail.com

Palabras clave |  
fitoplancton,  
zooplancton,  
variables abióticas,  
acuicultura.

**RESUMEN** | La planctología es la ciencia que tiene como objetivo estudiar los organismos que viven a la deriva en el medio líquido, con movimiento limitado. Debido a su sensibilidad a los cambios en el medio ambiente, estos organismos se han utilizado como indicadores de la calidad ambiental. Ante esto, el presente estudio buscó analizar la composición de las comunidades de fitoplancton y las variables físicas y químicas del agua en ambientes lénticos artificiales. Las colectas se realizaron en octubre de 2023, en la superficie de la columna de agua de una piscifactoría y un lago del casco urbano de Toledo, Paraná. Las variables medidas fueron saturación y concentración de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, presión atmosférica, pH, amoníaco y temperatura del agua. Nuestros resultados demostraron variaciones entre las variables físicas y

Keywords |  
 phytoplankton,  
 zooplankton, abiotic  
 variables, aquaculture.

químicas del agua en ambientes lénticos artificiales, especialmente saturación, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, amoníaco, pH y sólidos disueltos totales. En total, en las muestras se describieron 287 individuos, concentrándose la mayoría de ellos en la piscifactoría. Los filos principales eran Ochrophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria y Chlorophyta. Mientras que el lago urbano presentó una baja abundancia de individuos, sólo 66 individuos. Concluimos que la composición de las comunidades de fitoplancton en ambientes lénticos urbanos es diferente, existiendo una mayor abundancia de estos organismos en ambientes cultivados.

**ABSTRACT** | Planctology is the science that aims to study organisms that live adrift in liquid environments, with limited movement. Due to their sensitivity to changes in the environment, these organisms have been used as indicators of environmental quality. Given this, the present study sought to analyze the composition of phytoplankton communities and the physical and chemical variables of water in artificial lentic environments. The collections were made in October 2023, on the surface of the water column of a fish farm and a lake in the urban area of Toledo, Paraná. The variables measured were saturation and concentration of dissolved oxygen, electrical conductivity, total dissolved solids, atmospheric pressure, pH, ammonia and water temperature. Our results demonstrated variations between the physical and chemical variables of water in artificial lentic environments, especially saturation, dissolved oxygen, electrical conductivity, ammonia, pH and total dissolved solids. In total, 287 individuals were described in the samples, most of them concentrated in the fish farm. The main phyla were Ochrophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria and Chlorophyta. While the urban lake presented a low abundance of individuals, only 66 individuals. We conclude that the composition of phytoplankton communities in urban lentic environments is different, with a greater abundance of these organisms in cultivated environments.

## INTRODUCCIÓN

La Planctología es la ciencia que tiene como objetivo estudiar comunidades de organismos que viven libremente en ambientes líquidos, teniendo su movimiento limitado por el ambiente, denominándose plancton (Moreira, 2021). Los estudios que abordan la estructura y dinámica de la comunidad planctónica han despertado un interés considerable en la comunidad científica a lo largo de los años. Debido a la notable sensibilidad de estos organismos a los cambios ambientales, así como a su ciclo de vida relativamente corto. Por tanto, desempeñan un papel crucial como indicadores del estado ecológico, armonizando eficientemente con la comprensión de las interacciones entre los procesos físicos y las respuestas biológicas (Esteves, 2011; Moreira, 2021).

Además, la limnología también juega un papel fundamental en la evaluación de las masas de agua, identificando y estudiando los impactos de la contaminación y los cambios ambientales (Boyd, 2015; Hutchinson, 1967). Se utilizan diferentes métodos para monitorear y evaluar la calidad del agua, incluidos análisis químicos, físicos y biológicos. Estos análisis permiten identificar sustancias químicas, como nutrientes y contaminantes, que pueden afectar la calidad del agua. Además, se realizan mediciones de temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez y otros parámetros que ayudan a evaluar la salud general de los cuerpos de agua (Fisher *et al.*, 1982).

Por lo tanto, es fundamental abordar el estudio de las comunidades ecológicas, teniendo en cuenta propiedades sistémicas, como la estructura energética y poblacional, incluyendo patrones de ciclos biológicos y estrategias adaptativas, alineados con las variables físicas y químicas del ambiente (Tundisi, 2008). Por lo tanto, es crucial investigar la composición de las comunidades de fitoplancton, con el objetivo de identificar interfaces y comprender las acciones de la comunidad en el medio ambiente.

Ante esto, el presente estudio buscó analizar la composición de las comunidades de fitoplancton y las variables físico-químicas del agua en ambientes lénticos artificiales urbanos de la región Occidental de Paraná, con el fin de prevenir posibles impactos sobre los ambientes acuáticos locales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

Las colectas se realizaron en octubre de 2023, en la superficie de la columna de agua de dos ambientes lénticos artificiales diferentes (Puntos 01 y 02), ubicados en la región urbana del municipio de Toledo, Estado de Paraná.

### Punto 01: empresa acuícola

La primera ubicación es una empresa de acuicultura, en funcionamiento desde 2003. En la propiedad están instalados alrededor de 59 estanques excavados, con sistemas de cría semiintensivos, destinados a producir especies de peces nativas y exóticas, como *Oreochromis niloticus*, *Piaractus mesopotamicus* y *Cyprinus carpio* para fines comerciales y ornamentales (Figura 1). Además, la propiedad también cuenta con el uso de fuentes aireadoras para incorporar oxígeno al agua de cultivo.



Figura 1. Empresa acuícola ubicada en la región urbana de Toledo, Paraná. Fuente Google Earth.

## Punto 02 – Lago Municipal

La segunda ubicación es un lago urbano inaugurado en 2010, con el objetivo de proporcionar un entorno cultural y de ocio a los residentes locales. Tiene un carácter morfológico léntico, con presencia de abundante vegetación en sus extremos (Figura 2).



Figura 2. Lago Municipal de Povo, Toledo, Paraná. Fuente: Google Earth.

## Recogida y análisis de muestras de agua

Las variables físico-químicas analizadas fueron: oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, amoníaco, saturación, presión atmosférica y temperatura del agua. Para las mediciones se utilizó una sonda multiparamétrica, un kit de análisis de titulación de agua y una red de recolección

de fitoplancton (68  $\mu\text{m}$ ). Las colectas se realizaron dentro de los 30 cm de la superficie de la columna de agua, entre las 8:00 y las 12:00 del día. Las muestras de agua fueron colocadas en macetas de polietileno, identificadas y transportadas al laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad Estatal del Oeste de Paraná, Campus Toledo.

Para analizar muestras de agua en el laboratorio se utilizaron microscopios ópticos, pipetas Pasteur, portaobjetos y cubreobjetos. La identificación de los principales grupos de fitoplancton siguió las recomendaciones descritas por Bicudo y Menezes (2006).

## RESULTADOS

Las variables físico-químicas del agua demostraron variaciones entre los puntos de muestreo. Especialmente niveles de saturación, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, amoníaco, pH y sólidos disueltos totales (Cuadro 1). Mientras que la temperatura del agua y la presión atmosférica se mantuvieron constantes.

**Cuadro 1.** Valores de variables físico-químicas del agua en ambientes lénticos artificiales, Toledo, Paraná en octubre de 2023.

Variables fisicoquímicas del agua	Punto 01	Punto 02
Temperatura de agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,8	23,1
ATM (mmHg)	719,1	718,4
Saturación de oxígeno (%/L)	82,5	101,8
Oxígeno disuelto (mg/L)	6,7	8,2
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	45,8	9,6
Sólidos disueltos totales (mg/L)	30,9	6,5
pH	9,1	7,8
Amoníaco (mg/L)	0,25	2,0

La comunidad de fitoplancton fue diversa entre los puntos de muestreo. En total se registraron 388 individuos, distribuidos entre los filos Ochrophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria y Chlorophyta (Cuadro 2). El estanque excavado de la empresa acuícola (Punto 01) fue el que registró la mayor cantidad de individuos de

fitoplancton, alrededor de 287 en total. Mientras tanto, el lago registró sólo 66 individuos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales grupos de fitoplancton presentes en ambientes lénticos artificiales del área urbana de Toledo, Paraná, en octubre de 2023.

Taxon	Punto 01	Punto 02
Clase Bacillariophyta		
Orden Bacillariales		
Familia Bacillariaceae	1	1
Clase Euglenophyceae		
Orden Euglenae		
Familia Euglenaceae		10
<i>Euglena</i> sp.	3	
Clase Cyanophyceae		
Orden Chroococcales		
Familia Microcystaceae	48	29
Orden Nostocales		
Familia Nostocaceae		
<i>Anabaena</i> sp.	2	
Clase Chlorophyceae		
Orden Sphaeropleales		
Familia Microsporaceae	2	4
Familia Scenedesmaceae	222	18
<i>Demodermus</i> sp.	40	
Clase Trebouxiophyceae		
Orden Chlorelalles		
Familia Ooscystaceae	10	4

## DISCUSIÓN

Las variables físico-químicas del agua demostraron patrones diferentes entre los sitios de estudio, presentando el estanque excavado de la empresa acuícola valores de conductividad eléctrica, amoníaco, pH y sólidos disueltos totales superiores a los registrados en el lago municipal. En este caso es necesario considerar que el primer punto es un ambiente de piscicultura, con uso de aireadores, control de densidad de población y suministro de alimento diario. Mientras tanto, el lago municipal no sufre interferencias de estos factores, obteniéndose su renovación de agua a través de una fuente natural de agua. Estos factores pueden influir directamente en el comportamiento de las variables de calidad del agua entre ubicaciones. Similar a lo descrito por Ladislau *et al.*

(2020), donde los autores observaron que la presencia de aireadores, la práctica de renovación de agua y el suministro de alimento influyen directamente en el comportamiento de las variables físico-químicas del agua en estanques excavados en piscicultura, cambiando principalmente la concentración de disuelto. oxígeno en el ambiente, además de la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales y la turbiedad.

Además de las variables físico-químicas del agua, la composición de la comunidad fitoplanctónica también resultó diferente entre los sitios de estudio. Hay mayor presencia de estos organismos en el vivero de la empresa acuícola que en el lago artificial. Posiblemente, esto ocurre debido al enriquecimiento del agua en la piscifactoría por los restos de alimento y la baja renovación hídrica, tornándose así el ambiente con alta concentración de nutrientes y favorable para el desarrollo de estos organismos (Macedo y Sipaúba-Tavares, 2010 ; Kubitza, 2013). En piscicultura, la producción de alimento vivo en determinadas etapas de la vida de los peces de cultivo también es una estrategia ampliamente utilizada, con el objetivo de facilitar la aceptación del alimento (Kubitza y Lovshin, 1999), como en el sistema de cultivo evaluado en este estudio.

El grupo de algas con mayor número de individuos encontrado en el presente estudio fue el de la familia Scenedesmaceae. Las algas pertenecientes a este grupo representan la mayor familia de algas verdes cocoides, habitan ambientes acuáticos continentales, presentan amplia diversidad en Brasil y son generalmente dominantes entre la comunidad en la que se encuentran (Felisberto et al., 2001; Domingues y Torgan, 2012 ). Cabe señalar que la presencia de cianofitas puede ser indeseable, ya que mostraron evidencia de un efecto negativo (Borges et al., 2010). Por otro lado, la clase Chlorophyceae presenta reportes en la literatura que estos son poco investigados, sin embargo, bien registrados en la comunidad fitoplanctónica, siendo Chlorophyceae una de las clases mejor representadas en términos de número de taxones. (Domingues y Torgan, 2012).

## CONCLUSIONES

Concluimos que las comunidades de organismos fitoplanctónicos presentes en los ambientes lénticos urbanos de la región de Toledo son completamente



distintas, donde el estanque excavado de la empresa acuícola presentó una mayor concentración de organismos pertenecientes a este grupo que el lago público municipal. Demostrando así cómo estos ambientes pueden favorecer el desarrollo de organismos pertenecientes a esta comunidad. Por lo tanto, esperamos que esta información pueda ayudar a los gestores locales y al surgimiento de nuevos estudios sobre el tema.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la coordinación de la carrera de Ingeniería Pesquera de la Universidad Estadual del Oeste de Paraná (Unioeste) por proporcionar la estructura del laboratorio de Ecología Acuática para realizar el análisis de las muestras del presente estudio.

## REFERENCIAS

Bicudo C.E.M., Menezes M. (2006). Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. Rima. 2ed., São Carlos, 502pp.

Boyd C.E. (2015). Water Quality: An Introduction. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-23335-8>

Borges P.A.F., Train S., Dias J.D., Bonecker C.C. (2010). Effects of fish farming on plankton structure in a Brazilian tropical reservoir. *Hydrobiologia*, 649:279-291.

Domingues C.D., Torgan L.C. (2012). Chlorophyta de um lago artificial hipereutrófico no sul do Brasil. *Iheringia: Série Botânica*. 67: 75-91.

Esteves F.A. (2011). Fundamentos de limnologia. Interciência. 3. ed. Rio de Janeiro. 226pp.

Felisberto S.A., Rodrigues L., Leandroini J.A. (2001). Chlorococcales registradas na comunidade perifítica, no reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil, antes e após o represamento das águas. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 23: 275-282.

Fisher S.G., Likens G.E., Davis M.B. (1982). Autumn biomass and production of a stream population of the mayfly, *Stenonema vicarium*. *Ecology*, 63(6): 1605-1614.

Hutchinson G.E. (1967). A Treatise on Limnology: Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. *Ecology*, 48(3): 371-372.

Kubitza F. (2013). Qualidade de água no cultivo de peixes e camarões. Funep. 1ed. 208pp.

Kubitza F., Lovshin L.L. (1999). Formulated diets, feeding strategies, and cannibalism control during intensive culture of juvenile carnivorous fishes. *Reviews in Fisheries Science*, Amsterdam, 7: 1-22.

Ladislau D.S., Takiyama L.R., Souza P.L., Ribeiro M.W., Aride P.H.R., Lavander H.D., Bassul L.A., Mattos D.C., Cardoso L.D., Oliveira A.T. (2020). Avaliação da qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11: 402-417. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0037>

Macedo C.F., Sipaúba-Tavares L.H. (2010). Eutrofização e qualidade de água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*, 32: 149-163.

Moreira, R.T. (2021). Planctologia e a produção de alimento vivo. Rima. São Carlos, São Paulo. 206pp.

Tundisi J.G., Tundisi M. (2008). *Limnologia. Oficina de Textos*, São Paulo. 631pp.



# Impact of stress on marine microorganisms

Impacto del estrés en los microorganismos marinos

Kadiata Ba, Ahlam Zarhouti,  
Bouchra EL Khalfi, Abdelaziz Soukri

Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Health and Biotechnology Research Center, Hassan II University of Casablanca, Maarif B.P 5366, Casablanca, Morocco.

Correspondencia Abdelaziz Soukri   [ab.soukri@gmail.com](mailto:ab.soukri@gmail.com)

## Key words |

Oxidative stress,  
Free radicals,  
Antioxidants,  
Marine microorganisms

**ABSTRACT** | Oxidative stress results from an imbalance in the prooxidant-antioxidant system. It causes cellular and tissue damage. Oxidative stress affects not only human beings, but also marine microorganisms, notably marine bacteria, protists, marine microalgae and other microorganisms, which are most affected by stress due to environmental factors inducing excessive production of free radicals in their environment, affecting their environment, their growth and therefore their existence. That's why it's so important to understand the consequences of stress in order to combat it and protect marine micro-organisms.

## Palabras clave |

Estrés oxidativo,  
Radicales libres,  
Antioxidantes,  
Microorganismos marinos

**RESUMEN** | El estrés oxidativo resulta de un desequilibrio en el sistema prooxidante-antioxidante. Provoca daño celular y tisular. El estrés oxidativo afecta no sólo a los seres humanos, sino también a los microorganismos marinos, en particular bacterias marinas, protistas, microalgas marinas y otros microorganismos, que son los más afectados por el estrés debido a factores ambientales que inducen una producción excesiva de radicales libres en su entorno, afectando su entorno, su crecimiento y por ende su existencia. Por eso es tan importante comprender las consecuencias del estrés para poder combatirlo y proteger los microorganismos marinos.

## INTRODUCTION

Oxidative stress is a physiological phenomenon characterized by excessive damage resulting from an imbalance between the free radical synthesis and defense (antioxidant) systems. Free radicals, notably superoxide ( $O_2^-$ ), hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and hydroxyl radical (OH), are produced by the crucial biological electron acceptor oxygen ( $O_2$ ). This production can be exogenous or endogenous (enzymatic or non-enzymatic). Several studies have demonstrated that free radicals cause undesirable effects, notably structural modification of lipids, proteins and nucleic acids in cellular compartments, leading to the following consequences: tissue and cellular damage, protein denaturation, DNA hydroxylation, lipid peroxidation, imbalance of homeostasis and cell apoptosis. In some organisms, the stress-resistance system is enhanced. However, these ROS have a beneficial effect on immune system function, maintain redox balance and are involved in the activation of cellular signals (Chowdhury & Saikia, 2020). As with all organisms, oxidative stress is also harmful to marine microorganisms. However, it can be caused by endogenous or exogenous factors such as starvation, agricultural or industrial pollutants, temperature changes, biological cycles, toxic substances and nutrition (Genç et al., 2020; Song et al., 2023). Today, stress is a global health problem. Not only is it a source of many human diseases, but it also impacts marine life through several parameters. These have negative consequences for marine micro-organisms. Marine bacteria, protists, marine microalgae and other microorganisms are the most affected by stress, which affects their environment, their growth and therefore their existence. That's why it's important to understand the consequences of stress to combat it and protect marine microorganisms. In this review, we highlight oxidative stress and its various factors in marine microorganisms.

### Oxidative stress in marine organisms

Marine organisms are exposed to, and adapt to, a wide variety of environmental factors. on variable temporal and spatial scales, from polar to tropical and from hourly to seasonal, in order to maintain homeostasis and growth, and to reproduce. Not surprisingly, like any other metabolic pathway, the processes that lead to ROS production vary significantly over broad gradients of

many environmental factors, and adjustments in antioxidant production are made according to the state of the organism, and are necessary to keep ROS concentration at low levels and thus prevent oxidative stress and cellular damage. (Chowdhury & Saikia, 2020).

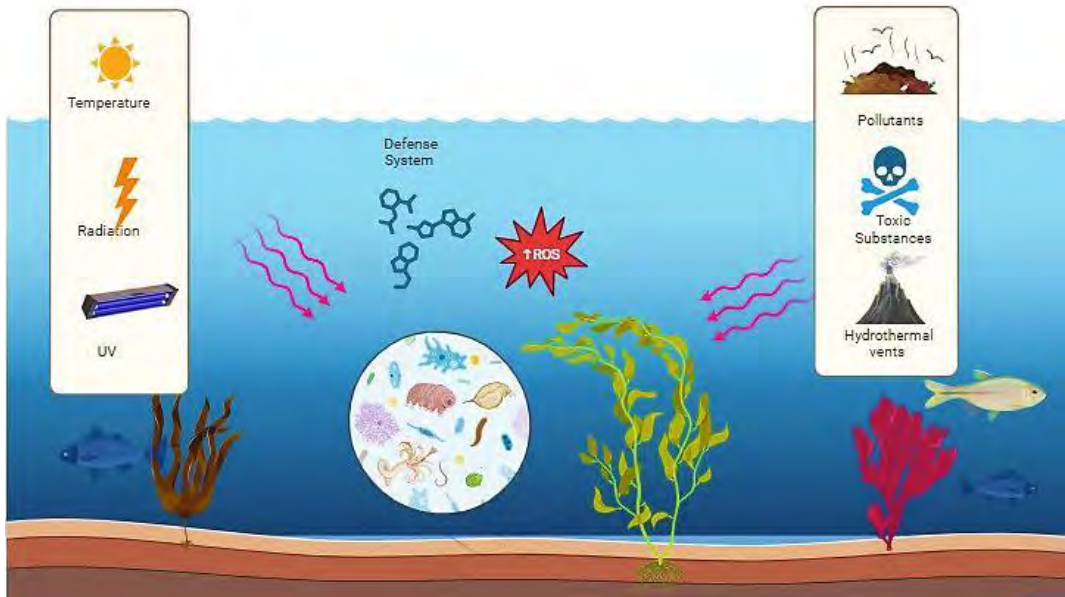


Figure 1. Illustrates the different environmental factors involved in the production of ROS in the marine environment.

### Stress-inducing factors for free radical production in the marine environment

According to scientific studies, certain factors can induce stress in the marine environment by promoting the synthesis of free radicals (ROS), including solar radiation, radiation, toxic substances, pollutants and hydrothermal vents.

The production of free radicals can be induced by hydrothermal vents (Tapley *et al.*, 1999), thanks to the abundance of oxygen ( $O_2$ ) and hydrogen sulphide ( $H_2S$ ) at these proximities. Which lead to the oxidation of  $H_2S$  in seawater subsequently

the release of oxygen and sulfur. The oxidation of the sulfide produces  $O_2^-$  (Tapley et al., 1999) was determined by spin trapping by electron paramagnetic resonance. In addition, the high concentrations of  $O_2$  near the vents probably lead to the production of  $H_2O_2$  by oxygen dismutation, and subsequently induction of oxidative stress that follows for the vent fauna. Some seabed species including *Riftia pachyptila* and *Calyptogenia magnifica*, and their bacterial symbiotes, all express SOD and exhibit peroxidase activity (Blum & Fridovich, 1984). Thus, exposure to high sea water temperatures, results in the highest values of the total oxidation and catalase trapping capacity, which is attributed to the production of  $H_2O_2$  (Regoli et al., 2004) and thus increase of free radicals.

On the other hand, at the level of marine systems, the absorption of solar radiation, more precisely the UVR wavelengths by the organic matter dissolved in seawater, lead to the photochemical synthesis of various reactive transients, such as free radicals (ROS). The latter cause deleterious effects on bacteria and phytoplankton by attacking cell membranes or by inhibiting photosynthesis. Among these free radicals, hydrogen peroxide has the longest shelf life in seawater, so it can easily cross biological membranes (Asada et al., 1987; Halliwell & Gutteridge, 1999; Mopper & Kieber, 2000) at its high concentrations.

### Stress protection

Antioxidant protection has still not been associated with aerobic organisms, but it can also be associated with anaerobic organisms with a wide spectrum of oxygen tolerance, mainly prokaryotes. These anaerobic bacteria from hydrothermal chimney environments can attenuate  $O_2^-$  without producing oxygen, which would also be toxic thanks to its new hydrothermal enzymes (Jenny et al., 1999). *Pyrococcus furiosus*, an anaerobic hyperthermophilic bacterium, contains a superoxide reductase that reduces  $O_2$  to  $H_2O_2$ , which is then reduced to  $H_2O$  by peroxidases (Jenny et al., 1999). However, many bacteria contain Fe and Mn SOD, but many also contain Cu/Zn SOD (Halliwell & Gutteridge, 1999). These Cu/Zn SOD are different from eukaryotic Cu/Zn SOD and could be the evolutionary precursor (Halliwell & Gutteridge, 1999). *Photobacterium leiognathi*, is a symbiotic bioluminescent bacterium of ponyfish presents SOD Cu/Zn of prokaryotic origin. One of the important characteristics of these bacterial symbioses is the use of bioluminescence as a means of communication or signaling mechanism between

specific hosts. This type of microorganism has enzymes used to prevent oxidative stress.

### Extracellular production of free radicals

Photoautotrophic microorganisms and marine algae are endowed with free radical (ROS) production capacity. Among unicellular eukaryotic algae, dinoflagellates present the three SOD metalloproteins (Lesser & Shick, 1989). Studies show that these cells have a daily cycle of maximum activity of SOD, and other antioxidant enzymes that are associated with mid-day irradiation peaks and ROS production. Some of these species are toxic to bacteria and fish due to the production of extracellular ROS (Yang *et al.*, 1995), resistant to some of the most difficult environmental conditions, namely freezing, desiccation, carbon limitation and heat stress. These extreme environmental conditions are responsible for the production of ROS, and contribute to the photoinhibition of photosynthesis observed in these ecologically important marine algae. In addition, species vary in their sensitivity to oxidative stress, and in the seasonal acclimatization of antioxidant defenses, to temperature-induced changes in oxidative stress. This ROS formation is also observed in brown algae *Fucus evanescens* (Collen *et al.*, 1997). Excessive production of ROS, results in a quantum reduction in fluorescence and an increase in lipid peroxidation.

Other studies have shown that several marine invertebrates produce ROS. In particular, bivalve molluscs produce ROS in response to xenobiotics and temperature changes, particularly heat stress (Winston *et al.*, 1990). ROS are also important against prokaryotic and eukaryotic pathogens in their cell-mediated immune response (Adema *et al.*, 1991).

### CONCLUSION

Although the impact of oxidative stress on marine microorganisms varies, according to species and environmental conditions (anthropogenic or natural), induces disturbances in their physiological functions. It is important to understand the consequences of stress, because it is involved in maintaining marine ecosystems.

## REFERENCES

- Asada K, Takahashi M. (1987). Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. In *Photoinhibition*, ed. DJ Kyle, CB Osmond, CJ Arntzen, pp. 228–287. Elsevier: Amsterdam.
- Adema CM, Van der Knaap WPW, Sminia T. (1991). Molluscan hemocyte mediated cytotoxicity: the role of reactive oxygen intermediates. *Rev. Aquat. Sci.* 4: 201–223.
- Blum J, Fridovich I. (1984). Enzymatic defenses against oxygen toxicity in the hydrothermal vent animals *Riftia pachyptila* and *Calyptogena magnifica*. *Arch. Biochem. Biophys.* 228(2):617–620 doi: 10.1016/0003-9861(84)90030-4.
- Chowdhury S., Saikia S.K. (2020). Oxidative Stress in Fish: A Review, *Journal of Scientific Research*, 12(1): 145-160.
- Coll´en J, Davison IR. (1997). In vivo measurement of active oxygen production in the brown alga *Fucus evanescens* using 2',7'-dichlorohydrofluorescein diacetate. *J. Phycol.* 33:643–48.
- Genç, Y., Bardakci, H., Yücel, Ç., Karatoprak, G. Ş., Küpeli Akkol, E., Hakan Barak, T., & Sobarzo-Sánchez, E. (2020). Oxidative stress and marine carotenoids: Application by using nanoformulations. *Marine Drugs*, 18(8): 423.
- Halliwell B, Gutteridge JMC. (1999). *Free Radicals in Biology and Medicine*. New York: Oxford Univ. Press. 936 pp.
- Jenny FE Jr, Verhagen MFJM, Cui X, Adams MWW. (1999). Anaerobic microbes: oxygen detoxification without superoxide dismutase. *Science* 286:306–309.
- Lesser MP, Shick JM. (1989). Effects of irradiance and ultraviolet radiation on photoadaptation in the zooxanthellae of *Aiptasia pallida*: primary production, photoinhibition, and enzymic defenses against oxygen toxicity. *Mar. Biol.* 102: 243–255.



- Mopper K, Kieber DJ. (2000). Marine photochemistry and its impact on carbon cycling. In *The Effects of UV Radiation in the Marine Environment*, ed. S De Mora, S Demers, M Vernet, pp. 101–130. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Regoli F, Cerrano C, Chierici E, Chiantore MC, Bavestrello G. (2004). Seasonal variability of prooxidant pressure and antioxidant adaptation to symbiosis in the Mediterranean demosponge *Petrosia ficiformis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 275: 129–137.
- Song, C., Sun, C., Liu, B., & Xu, P. (2023). Oxidative Stress in Aquatic Organisms. *Antioxidants*, 12(6): 1223.
- Tapley DW, Buettner GR, Shick JM. (1999). Free radicals and chemiluminescence as products of the spontaneous oxidation of sulfide in seawater, and their biological implications. *Biol. Bull.* 196: 52– 56.
- Winston GW, Livingstone DR, Lips F. (1990). Oxygen reduction metabolism by the digestive gland of the common marine mussel, *Mytilus edulis* L., *J. Exp. Zool.* 255: 296–308.
- Yang CZ, Albright LJ, Yousif AN. (1995). Oxygen-radical-mediated effects of the toxic phytoplankter *Heterosigma carterae* on juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 23: 101–108.

# Cultivo de moluscos

# Aplicação de pó de conchas de *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) como corretivo de acidez dos solos

## Application of seashell powder of *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) as a soil acidity corrector

Fausto Silvestri<sup>1</sup> Nayara Romero Oliveira<sup>2</sup>,  
André Celestino Martins<sup>2</sup>, Sara Rodrigues Duarte Montenegro<sup>2</sup>,  
Cristiane Rampinelli Zanella<sup>3</sup>, Luis Alberto dos Santos<sup>2</sup>,  
Carla Cristina Almeida Loures<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro – FIPERJ.  
Angra dos Reis (RJ), Brasil.

<sup>2</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca -  
CEFET/RJ, Angra dos Reis (RJ), Brasil.

<sup>3</sup> Brigada Mirim Ecológica da Ilha Grande.  
Angra dos Reis (RJ), Brasil.

Fausto Silvestri  [fsilvestri9@gmail.com](mailto:fsilvestri9@gmail.com)

Palavras-chave |  
conchas,  
carbonato de cálcio,  
economia azul,  
malacocultura

**RESUMEN** | A malacocultura é uma das principais atividades produtivas praticadas na Baía da Ilha Grande, no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro. Há décadas, o cultivo da ostra do pacífico *Magallana gigas* é realizado de forma artesanal exercendo um importante papel na economia regional. Todavia, uma quantidade expressiva de resíduos desta atividade é gerada por meio do descarte inadequado de conchas no meio ambiente. Uma das formas de mitigar o impacto gerado por esse resíduo é através de sua valorização econômica. Tendo em vista que a composição química das conchas é majoritariamente formada por carbonato de cálcio, este estudo tem como objetivo verificar a viabilidade técnica da produção de pó de conchas descartadas como corretivo de acidez para solos. Em laboratório foi realizada a produção experimental e a caracterização físico-química do pó de conchas de *M. gigas*. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com as

especificações técnicas preconizadas pela legislação nacional de fertilizantes agrícolas. O processamento das conchas em moinho de martelos resultou em 72,69% de material com granulometria específica para calcário, 25,08% de partículas superiores a 2,0mm e 2,24% de perdas ao longo do processo. Os resultados analíticos demonstraram um Poder de Neutralização (PN=97,5%) e um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT=81,9%) compatíveis com os calcários obtidos de jazidas disponíveis no mercado. Os valores de Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) encontrados nas amostras foram < 9,4 mg/kg e < 38 mg/kg, respectivamente, resultados inferiores aos limites exigidos na legislação nacional. Os resultados obtidos apresentam uma boa perspectiva da utilização das conchas como corretivos para solos ácidos, propiciando assim uma nova oportunidade para a bioeconomia regional.

Keywords |  
shell,  
calcium carbonate,  
blue economy,  
shellfish culture

**ABSTRACT** | Shellfish culture is one of the main economic activities developed in Ilha Grande Bay, on the south coast of the Rio de Janeiro State. For decades, the culture of the Pacific oyster *Magallana gigas* has been carried out by artisanal way playing an important role in the regional economy. However, a significant amount of waste from this activity is generated through the inappropriate disposal of shells in the environment. One of the ways to mitigate the impact generated by this waste is through its economic valorization. Considering that the chemical composition of shells is mostly composed by calcium carbonate, this study aims to verify the technical feasibility of producing powder from discarded shells as a corrector of soil acidity. The pilot production and physical-chemical characterization of *M. gigas* shell powder was carried out in laboratory facilities. The results obtained were analyzed and compared with the technical specifications recommended by national agricultural fertilizer legislation. The shells were processed in a hammer grinder resulted in 72.69% of material with particle size specific to limestone and 25.08% of particles greater than 2.0 mm with a 2.24% of losses throughout all process. The analytical results demonstrated a Neutralization Potential (97.5%) and a Relative Total Neutralization Potential (81.9%) compatible with limestones derived from mineral deposits available on the market. The Cadmium (Cd) and Lead (Pb) values found in the samples were < 9.4 mg/kg and < 38 mg/kg,

respectively, results lower than the limits required by national legislation. The results obtained represent a good perspective on the use of shells as correctives for acidic soils, thus providing a new opportunity for the regional bioeconomy.

## INTRODUÇÃO

A malacocultura é uma importante atividade produtiva praticada na Baía da Ilha Grande, litoral sul do Estado do Rio de Janeiro. Há décadas, o cultivo da ostra do pacífico *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), é realizado de forma artesanal exercendo um importante papel na economia regional (Landuci *et al.*, 2022).

Todavia, uma quantidade expressiva de resíduos desta atividade é gerada por meio do descarte inadequado de conchas no meio ambiente. Via de regra este descarte pode ocorrer durante as fases de pré consumo, decorrente do manejo de indivíduos durante a produção em áreas de cultivo ou pós consumo, onde as conchas são descartadas logo após o seu consumo em bares, restaurantes ou residências (Alvarenga *et al.*, 2012).

Segundo as diretrizes preconizadas pelas boas práticas ambientais para o cultivo de moluscos, as conchas e os resíduos do manejo de moluscos não devem ser descartados no mar ou acumulados em áreas adjacentes aos cultivos podendo implicar em transtornos diversos tais como mau cheiro e infestações de pragas (Souza e Novaes, 2016). Por outro lado, a simples deposição das conchas em aterros sanitários pode promover um expressivo impacto ambiental se considerarmos a energia empregada nos processos de coleta, transporte e deposição dos resíduos.

Segundo a legislação nacional, compete aos produtores e processadores proporcionar uma destinação adequada aos resíduos gerados (IBAMA, 2006). Uma das formas de mitigar o impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado de conchas de ostras é através de seu reaproveitamento e sua consequente valorização econômica baseada nos princípios da economia circular (MacArthur, 2013). Uma série de estudos apontam para a reutilização de conchas visando a produção de carbonato de cálcio como matéria prima aplicada à construção civil, engenharia metalúrgica, agricultura, zootecnia e suplementação alimentar (Fagundes e Silva, 2022).

O carbonato de cálcio presente na composição das conchas de moluscos bivalves quando triturado pode atuar na correção de acidez do solo (Lo Monaco et al., 2012; Lo Monaco et al., 2015). Entretanto, para que se possa avaliar a eficiência do calcário deve-se levar em consideração as propriedades físico-químicas do pó de conchas conforme o tipo processamento empregado. No Brasil a legislação federal estabelece diretrizes para a classificação qualitativa dos corretivos de acidez com base no Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT, indicador que reflete a qualidade do calcário e o tempo de reação no solo (BRASIL, 2006). Nesse sentido, este estudo tem como objetivo verificar a viabilidade técnica da produção de pó de conchas de ostra do pacífico *M. gigas* descartadas inadequadamente pós consumo, visando a sua aplicação agrícola como corretivo de acidez para solos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram coletadas amostras de conchas adultas de ostras do pacífico *M. gigas* descartadas por maricultores e proprietários de restaurantes na Ilha Grande, distrito de Angra dos Reis, no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro.

Na Baía da Ilha Grande as ostras são produzidas em sistema suspenso flutuante em longlines de aproximadamente 100 m de extensão. As sementes de ostras são adquiridas a partir de larviculturas comerciais e mantidas no mar dentro de lanternas de cultivo até atingirem o tamanho comercial após aproximadamente 12 meses. Neste sistema, as lanternas contendo as ostras são posicionadas a cerca de 10 m de profundidade com um espaçamento médio de 1 m linear entre as lanternas. De um modo geral o descarte das conchas e incrustações ocorre no mar próximo às áreas de cultivo ou é coletado como rejeito comum pelo sistema público de coleta de resíduos sólidos.

As amostras de conchas coletadas foram imediatamente transportadas para o Departamento de Engenharia Metalúrgica do CEFET/RJ para realização do processamento e análise do calcário. Em laboratório, amostras de 3 kg de conchas foram lavadas em água do mar filtrada contendo 0,5 ppm de HCl, seguida pela retirada manual de eventuais organismos incrustantes. Sucessivamente realizaram-se os procedimentos de secagem controlada das amostras sob temperatura de 60 °C por 48 h e trituração manual do material seco.

Para a produção do pó de conchas, realizou-se a cominuição do material particulado em moinho de martelos por 20 min sob a rotação de 50 rpm. A tamisação do material foi realizada manualmente em peneiras com abertura de malha de 2,00 mm (ABNT 10), 0,84 mm (ABNT 20) e 0,30 mm (ABNT 50).

A partir do material resultante da cominuição foram determinados os parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 1. Todas as determinações foram realizadas de acordo com o Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2017), exceto para o parâmetro Nitrogênio total que foi determinado conforme o Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (Silva, 2009) e os parâmetros matéria orgânica total, carbono orgânico total e resíduos minerais – total, solúvel e insolúvel, determinados através do Manual de Análises de Fertilizantes (Alcarde, 2009).

**Tabela 1.** Relação dos parâmetros físico-químicos analisados em amostras de pó de conchas de *Magallana gigas*, segundo as diretrizes do Ministério da Agricultura do Brasil.

**Table 1.** List of physicochemical parameters analyzed in samples of shell powder from *Magallana gigas*, according to guidelines from the Brazilian Ministry of Agriculture.

Parâmetros determinados	
✓ Granulometria	✓ Silica + insolúveis
✓ pH	✓ Relação C/N
✓ Densidade	✓ Macro elementos: N, P, K, Mg, Ca, S, Na
✓ Umidade total	✓ Microelementos: Cu, Fe, Mn, Zn, B
✓ Matéria orgânica	✓ Metais pesados: Cd, Pb
✓ Carbono orgânico	✓ Poder de neutralização (PN)
✓ Resíduo mineral total	✓ Reatividade (RE)
✓ Óxidos e soma de óxidos (CaO e MgO)	✓ Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento das conchas em moinho de martelos resultou em 72,69% de pó de conchas com granulometria específica para a produção de calcário, sendo o restante distribuído em 25,08% de partículas superiores a 2,0 mm e 2,24% de perdas ao longo do processo. O rendimento do calcário produzido pode ser incrementado mediante o aprimoramento das condições de moagem. Fatores como o período de moagem, a velocidade de rotação, a quantidade e o dimensão das esferas influenciam as características físicas do calcário. Apesar disso, convém ressaltar que as partículas superiores a 2,0 mm que não atingiram a granulometria específica para a produção do calcário podem ser novamente processadas em uma sucessiva linha de produção ou também aproveitadas em outros fins, como matéria prima para a construção civil, aditivo para nutrição animal ou como substrato para aquariorfilia.

A neutralização da acidez dos solos ocorre através da utilização de compostos que liberam substâncias neutralizantes  $\text{OH}^-$  ou  $\text{HCO}_3^-$ . O teor dessas substâncias, o tamanho das partículas obtidas pela moagem, a estrutura cristalina e o teor de magnésio determinam a eficiência do corretivo (Souza et al., 2007).

A Tabela 2 apresenta a distribuição granulométrica referente ao calcário obtido experimentalmente. Os valores observados nas três faixas granulométricas atenderam aos parâmetros mínimos estabelecidos pela legislação federal para especificação de natureza física “pó” (BRASIL, 2020).

**Tabela 2.** Distribuição granulométrica do calcário de conchas de *Magallana gigas* obtida após o processamento em moinho de bolas e os respectivos valores de referência segundo a Instrução Normativa SDA nº61/2020.

**Table 2.** Particle size distribution of *Magallana gigas* shell limestone obtained after processing in a ball mill and the respective reference values according to SDA Normative Instruction No. 61/2020.

Granulometria	Presente estudo	Valor de referência
Peneira 10 (2.000mm) %	100	100
Peneira 20 (0.840mm) %	90,19	≥70
Peneira 50 (0.297mm) %	69,79	≥50

A síntese dos parâmetros físico-químicos do pó de conchas de *C. gigas* encontra-se descrita na tabela 3. A soma dos óxidos representa a capacidade potencial do corretivo em neutralizar a acidez do solo. O valor observado de soma dos óxidos foi compatível com o estudo com conchas de ostras realizado no litoral do estado do Espírito Santo (Lo Monaco et al., 2015). Com relação a sílica, é recomendável que calcários destinados para fins metalúrgicos e químicos devam conter menos que 2% de sílica (Luz e Lins, 2005).

Com relação aos macronutrientes, verificou-se o predomínio de cálcio na amostra com uma contribuição de 40,36%. O sódio é um cátion de alta solubilidade que apresentou uma concentração elevada em relação aos demais elementos. Conchas do gênero *Magallana* podem apresentar até 1,19% de sódio em sua composição (John e Mary, 2016). Quando o sódio encontra-se disponível em concentrações elevadas no solo pode ocorrer um aumento na condutividade elétrica, prejudicando o desenvolvimento fisiológico das plantas. O efeito danoso do sódio pode ser atenuado pela presença do elemento enxofre, geralmente utilizado para reduzir o excesso de sódio trocável no solo. Na análise comparativa entre os elementos primários N-P-K, verificou-se o nitrogênio como o elemento mais representativo com teor de 0,1%.



O ferro foi o microelemento com maior relevância na amostra representando 0,132%. Do ponto de vista fisiológico é o elemento de maior importância entre os metais de transição para o metabolismo das plantas e comumente empregado na composição de biofertilizantes agrícolas. O ferro exerce um papel importante em processos biológicos relacionados à fotossíntese e à respiração, atuando principalmente no transporte de elétrons por meio de citocromos e ferredoxinas (Rout e Sahoo, 2015).

Tabela 3. Caracterização físico-química de pó de conchas de *Magallana gigas*. \* Valor máximo permitido segundo a legislação federal (IN SDA N° 07/2016).

Table 3. Physicochemical characterization of *Magallana gigas* shell powder. \* Maximum value allowed according to federal legislation (IN SDA No. 07/2016).

Parâmetros	Valores observados
✓ pH (CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup> )	8,00
✓ Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,09
✓ Umidade total (%)	1,81
✓ Matéria orgânica (%)	2,28
✓ Carbono orgânico (%)	1,27
✓ Resíduo mineral total (%)	96,20
✓ Óxido de cálcio - CaO (%)	54,66
✓ Óxido de magnésio - MgO (%)	0,40
✓ Soma de óxidos (%)	55,06
✓ Silica + insolúveis (%)	0,68
✓ Relação C/N	13
Macroelementos	
✓ Nitrogênio total - N (%)	0,10
✓ Fósforo total - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,03
✓ Potássio total - K <sub>2</sub> O (%)	0,01
✓ Cálcio total - Ca (%)	40,36
✓ Magnésio total - Mg (%)	0,26
✓ Enxofre total - S (%)	0,22
✓ Sódio total - Na (%)	0,491
Microelementos	
✓ Cobre total - Cu (%)	0,000
✓ Ferro total - Fe (%)	0,132
✓ Manganês total - Mn (%)	0,003
✓ Zinco total - Zn (%)	0,002
✓ Boro total - B (%)	<0,001
Metais pesados	
✓ Cádmio (mg/kg)	<9,4 (20,0)*
✓ Chumbo (mg/kg)	37,81 (1.000,0)*

Os valores de metais pesados Cádmio e Chumbo encontrados nas amostras foram inferiores aos limites máximos preconizados pela legislação federal para corretivos e fertilizantes agrícolas (BRASIL, 2016). A concha dos moluscos marinhos pode servir como um depósito de metais na forma de grãos amorfos, atingindo concentrações três ordens de grandeza superior à encontrada no meio aquoso (Simkiss, 1993). Quando cultivadas em ambientes impactados as ostras podem bioacumular concentrações expressivas de metais pesados, como reportado em diferentes estudos realizados com ostras do gênero *Magallana* ao longo do litoral brasileiro (Senez-Mello et al., 2020).

Os resultados analíticos do carbonato de cálcio do pó de conchas de *M. gigas* indicaram compatíveis com carbonato obtido através de moagem manual (Tabela 4). A presença de grãos maiores influenciou diretamente no teor de reatividade indicando a necessidade de aprimoramento do processo de moagem. Por outro lado, os parâmetros PN, RE e PRNT apresentaram teores superiores aos calcários comerciais provenientes de sambaquis.

Tabela 4. Caracterização dos calcários referente a capacidade de correção de acidez do solo. <sup>1</sup>calcário obtido através de moagem manual (Lo Monaco et al., 2015). <sup>2</sup> Calcário comercial proveniente de sambaquis (concheiros) conforme especificações técnicas disponíveis nas embalagens dos produtos.

Table 4. Characterization of limestones regarding soil acidity correction capacity. <sup>1</sup>limestone obtained through manual grinding (Lo Monaco et al., 2015). <sup>2</sup> Commercial limestone from middens (shells) according to technical specifications available on product packaging.

	Este estudo	<i>M. gigas</i> <sup>1</sup>	CYSY® <sup>2</sup>	Vitaplan® <sup>2</sup>
PN - Poder de neutralização (%)	97,50	95,5	95	76
RE - Reatividade (%)	84	100	n.i.	n.i.
PRNT - Poder relativo de neutralização total (%)	81,9	95,5	71,44	50

O sistema de classificação de calcários agrícolas é hierarquizado em quatro faixas distintas conforme a concentração do PRNT (Souza et al. 2007). A faixa A é composta por calcários com baixo poder de neutralização (45% - 60%), as faixas B (60,1% - 75%) e C (75,1% - 90%) compreendem calcários de boa qualidade e a faixa D ( $\geq 90,1\%$ ) composta por calcários com alto poder de neutralização. Portanto pode-se afirmar que o pó de conchas de *M. gigas* produzido neste estudo apresentou um desempenho satisfatório enquadrando-se como calcário agrícola na faixa de classificação C.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam uma boa perspectiva para a utilização do pó de conchas de ostra do pacífico *Magallana gigas* como corretivo para solos ácidos. Os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados atenderam aos critérios mínimos preconizados pela legislação federal. Nesse sentido, o aproveitamento de conchas indevidamente descartadas pode representar uma nova oportunidade para a bioeconomia regional.

## Agradecimentos

Programa de treinamento e capacitação técnica em apoio ao desenvolvimento do setor agropecuário e da agroindústria do Estado do Rio de Janeiro – 2021– FAPERJ/SEAPPA (Proc. SEI-260003/010027/2021).

## REFERÊNCIAS

- Alcarde, J. C. (2009). Metodologia oficial de Análise de Corretivos de Acidez. Porto Alegre, Brasil. 58pp.
- Alvarenga, R. A. F., Galindro, B. M., Helpa, C. F. y Soares, S. R. (2012). The recycling of oyster shells: An environmental analysis using Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 106, 102-109.
- BRASIL (2006). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretária de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006.
- BRASIL (2007). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretária de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA Nº 28, de 27 de julho de 2007. Dispõe sobre manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos.
- BRASIL (2016). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretária de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA Nº 07, de 12 de abril de 2016. Estabelece os limites de concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para produzir, importar ou comercializar fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes

- BRASIL (2020). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretária de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA N° 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.
- Fagundes, T. F. S. y Silva, L. B. (2022). Potencial uso dos resíduos de conchas de moluscos: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(3), e43011326614.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2006). Instrução Normativa IBAMA N° 105, de 20 de julho de 2006.
- John, A. T. and Mary, J. (2016). Chemical Composition of the Edible Oyster Shell *Crassostrea madrasensis* (Preston 1916). *Journal of Marine Biology and Aquaculture*, 2(2), 1- 4.
- Landuci, F. S., Bez, M. F., Ritter, P. D, Costa, S. R., Silvestri, F., Zanette, G. B., Castelar, B. and Costa. P. M. S. (2021). Mariculturey in a densely urbanized portion of the Brazilian coast: Current diagnosis and directions for sustainable development. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105889.
- Lo Monaco, P. A. V., Matos, A. T., Eustáquio Júnior, V., Ribeiro, I. C. A. e Teixeira, D.L. (2012). Utilização do farelo de conchas de vôngole na adsorção de fósforo e como corretivo da acidez do solo. *Engenharia Agrícola*, 32(5), 866-874.
- Lo Monaco, P. A. V., Roldi Júnior, G., Vieira, G. H. S., Meneghelli, C. M. e Simon, C. P. (2015). Conchas de ostras e cascas de ovos moídas como corretivos da acidez do solo. *Revista Engenharia na Agricultura*, 23(6), 584-590.
- Luz, A. B. e Lins, F. A. F. (2005). *Rochas & Minerais Industriais*. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, Brasil. 867pp.
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23-44.
- Rout, G. R. and Sahoo, S. (2015). Role of Iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1-24.
- Senez-Mello, T. M., Crapez, M. A. C., Ramos e Silva, C. A., da Silva, T. and da Fonseca, E. M. (2020). Spatial variability of heavy metals in native oysters from

an anthropogenically impacted estuary in Northeastern Brazil. *Frontiers of Marine Sciences*, 7, 412. doi: 10.3389/fmars.2020.00412.

Silva, F. C. (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, Brasil. 627pp.

Simkiss, K. (1993). Amorphous minerals in biology. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 14, 49-54.

Souza, D. M. G., Miranda, L. N. e Oliveira, S.A. (2007). Acidez do solo e sua correção. In: Novais R.F. *et al.*, (Eds.). *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Brasil. pp: 205-274.

Souza, R. V. e Novaes, A. L. T. (2016). Boas práticas ambientais para o cultivo de moluscos. Epagri. Florianópolis, Brasil. 25pp.



# *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819): un molusco bivalvo de agua dulce con potencial para la diversificación de la acuicultura en Ecuador

*Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819):  
a freshwater bivalve mollusk with  
potential for aquaculture diversification  
in Ecuador

Milton Montúfar-Romero<sup>1-3</sup>, Walter Ruiz<sup>1</sup>,  
José Pacheco<sup>1</sup>, Enrique Salazar<sup>4</sup>,  
Ulises Avendaño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP),  
Programa Acuicultura, Guayaquil, Ecuador

<sup>2</sup>Programa de Doctorado en Ciencias con mención en Manejo de Recursos  
Acuáticos Renovables (MaReA), Departamento de Oceanografía,  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas,  
Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación en Acuicultura Sustentable (INCAR),  
Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>4</sup>Universidad Técnica de Babahoyo,  
Facultad de Ciencias Agropecuarias (FACIAG),  
Km 7.5 vía Montalvo, Babahoyo-Ecuador

Ulises Avendaño  [uavendano@institutopesca.gob.ec](mailto:uavendano@institutopesca.gob.ec)

## Palabras clave |

Almeja de agua dulce,  
Ecuador,  
molusco bivalvo,  
acuicultura,  
*Anodontites trapesialis*,  
embalses artificiales,  
uso alimentario,  
alimentos alternativos

**RESUMEN |** *Anodontites trapesialis*, un bivalvo nativo de Sudamérica, ha surgido como un candidato prometedor para la acuicultura de agua dulce debido a su alto valor nutricional, rápido crecimiento y adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. Este artículo ofrece una revisión detallada de la literatura existente sobre esta especie, con el objetivo de presentar una visión global de su potencial para la industria acuícola ecuatoriana. La integración de *A. trapesialis* en la acuicultura ecuatoriana tiene el potencial de promover el desarrollo económico, fomentar prácticas sostenibles y contribuir a

la conservación de la biodiversidad acuática. Para aprovechar todo el potencial de esta especie se requiere un enfoque global que abarque la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica en beneficio mutuo de la industria acuicola y el medio ambiente.

Keywords |

Freshwater mussels,  
Equator,  
bivalve mollusk,  
aquaculture,  
*Anodontites trapesialis*,  
artificial reservoirs,  
food use,  
alternative food

**ABSTRACT** | *Anodontites trapesialis*, a bivalve native to South America, has emerged as a promising candidate for freshwater aquaculture due to its high nutritional value, rapid growth, and adaptability to diverse environmental conditions. This article provides a detailed review of the existing literature on this species, with the objective of presenting an overview of its potential for the Ecuadorian aquaculture industry. The integration of *A. trapesialis* into Ecuadorian aquaculture has the potential to promote economic development, foster sustainable practices and contribute to the conservation of aquatic biodiversity. Harnessing the full potential of this species requires a comprehensive approach that encompasses research, development and practical application for the mutual benefit of the aquaculture industry and the environment.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura, como sistema de producción de alimentos diversificado, puede aumentar la resiliencia del sistema alimentario mundial al fomentar una elevada diversidad de especies (Cai et al., 2023).

A nivel mundial es prioritario que las fuentes de alimentación magnifiquen su diversificación para sustentar la seguridad alimentaria frente al déficit que se vislumbra.

La diversificación se presenta como una estrategia clave para impulsar el crecimiento y la resiliencia a largo plazo del sector acuicola, especialmente en un contexto marcado por desafíos como el cambio climático, brotes de enfermedades y fluctuaciones del mercado (Cai et al., 2023) . A pesar de este reconocimiento, muchos intentos de introducir nuevas especies han enfrentado

desafíos a largo plazo, con el sector privado a menudo enfocándose en especies más favorecidas para un crecimiento rápido (Cai et al., 2023). El cambio en los gustos de los consumidores hacia una variedad más amplia de alimentos acuáticos, impulsado por un aumento en el poder adquisitivo, ha contribuido a la disminución de rentabilidad de especies acuícolas tradicionales (Newton et al., 2021). En respuesta, los productores están diversificando sus producciones para satisfacer la demanda local, mientras algunos optan por desintensificar sus prácticas, retornando a métodos más tradicionales de cultivo en diques para gestionar eficientemente costos e insumos (Newton et al., 2021). Adicionalmente, la legislación ambiental está impactando la producción acuícola al reducir la superficie de cultivo, generando un cambio significativo en los sistemas de producción (Newton et al., 2021). En este contexto, los sistemas de acuicultura a pequeña escala emergen como actores clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural, aunque la intensificación puede tener consecuencias ambientales negativas (Wang et al., 2023). La diversificación, incluyendo prácticas como policultivos y cultivos en estanques, se vislumbra como una estrategia sostenible para la intensificación a pequeña escala (Wang et al., 2023). La optimización de las prácticas de cultivo depende de la comprensión de la fisiología y la ecología de las especies, sobre todo en el caso de las nuevas especies cultivadas, sobre las que la información puede ser limitada (Allen et al., 2021). En este marco, la atención se centra en *Anodontites trapesialis*, un molusco de agua dulce reconocido por sus propiedades biológicas y su potencial para contribuir al desarrollo sostenible de la acuicultura. Este artículo presenta una revisión detallada de la literatura existente sobre *A. trapesialis*, ofreciendo una visión integral de su fisiología, ecología y potencial para la acuicultura. Además, esta revisión bibliográfica destaca por primera vez el potencial de *A. trapesialis* como una especie alternativa para la acuicultura en Ecuador, contribuyendo así a la expansión y diversificación del sector acuícola en la región.

## MATERIALES y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el potencial acuícola de *A. trapesialis* utilizando consultas exclusivamente a publicaciones científicas disponibles en la plataforma de Web of Science



(<https://www.webofscience.com/>). La estrategia de búsqueda se basó en utilizar las siguientes combinaciones de palabras clave o "keywords": "*Anodontites trapesialis*" en el campo de búsqueda por título.

Con el propósito de estructurar el marco teórico de este estudio, se accedió y analizó un total de 37 fuentes bibliográficas en idioma inglés. Estas fuentes incluyeron artículos de investigación como revisiones bibliográficas actualizadas, proporcionando una base sólida para abordar el potencial acuicola de *A. trapesialis* desde una perspectiva científica y actualizada. La información fue analizada considerando la biología, ecología y alternativas para la acuicultura de esta especie.

## RESULTADOS

### Biología y ecología

*A. trapesialis*, miembro destacado de la orden Unionoida y la familia Mycetopodidae, emerge como el bivalvo de mayor distribución en las cuencas de América del Sur (Callil *et al.*, 2012; Paschoal *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021). Con una amplia presencia geográfica desde el sur de México hasta la Patagonia en Argentina, esta especie ocupa diversos hábitats acuáticos, mostrando preferencia por medios de hasta 20 metros de profundidad, aunque su presencia típica se sitúa entre 1 y 2 metros de profundidad (Callil *et al.*, 2012; Felipi & Silva-Souza, 2008; Paschoal *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021). Particularmente significativa es su contribución como componente prominente de la biomasa bentónica en diversos ecosistemas acuáticos, incluyendo ríos, lagos y llanuras de inundación (Callil *et al.*, 2012). *A. trapesialis* se adapta a su entorno, prosperando en sustratos lodosos blandos en la región amazónica del Perú, donde se alimenta de materia en suspensión (Loayza-Muro & Elías-Letts, 2007). Su presencia también se registra en embalses artificiales, especialmente aquellos destinados a la cría de peces (Graf & Cummings, 2007; Torres *et al.*, 2018). En el contexto acuicola brasileño, *A. trapesialis* se manifiesta como una especie que prospera en estanques de granjas y piscifactorías, destacando su comportamiento invasor y potencialmente agresivo (Silva *et al.*, 2021). En este escenario, es imperativo encontrar soluciones viables para el aprovechamiento de estos bivalvos, que

suelen enfrentar el desafortunado destino de morir y ser descartados (Silva et al., 2021). La biología de *A. trapesialis* añade un componente fascinante a este desafío. Sus larvas planctónicas, denominadas gloquidios o lasidios, llevan a cabo una fase temporal como parásitos en las branquias de los peces, incluyendo especies no nativas como la tilapia *Oreochromis* spp. (Paschoal et al., 2020; Silva et al., 2021). Una vez establecidas en el pez, las larvas experimentan transformaciones que culminan en la formación de almejas juveniles, liberándose finalmente para convertirse en organismos bentónicos después de completar la metamorfosis (Felipi & Silva-Souza, 2008; Silva et al., 2021).

Sin embargo, cuando esta especie habita en embalses, experimenta restricciones ambientales debido al represamiento, impactando significativamente su estructura poblacional (Paschoal et al., 2020). La especie se caracteriza por ser hermafrodita funcional y simultánea (Callil & Mansur, 2007). Desarrollo embrionario se distinguen cinco fases: la fase I, correspondiente a la etapa inicial del clivaje con la formación de células apicales; la fase II, que incluye las etapas de la mórula y la blástula; la fase III, en la que se forma la gástrula; la fase IV, en la que la larva formada se encuentra aún dentro de la envoltura del huevo; y la fase V, en la que aún puede identificarse el lasidio inmediatamente después de la eclosión (Silva-Souza et al., 2011). *A. trapesialis* tiene sus primeras etapas de desarrollo en el demibranquio interno (Silva-Souza et al., 2011). Una vez establecida en el pez, la larva sufre una serie de transformaciones que conducen a la formación de la almeja juvenil y la larva crece durante el encapsulamiento, 15 días después de la fijación, el pie y las branquias comienzan a diferenciarse internamente (Felipi & Silva-Souza, 2008). Al cabo de 19 a 28 días, tras completar la metamorfosis la larva alcanza el estadio de la almeja juvenil y se desprende del pez mediante movimientos de los músculos del pie y aductores para convertirse en organismos bentónicos (Felipi & Silva-Souza, 2008; Silva et al., 2021).

A veces, todo el quiste se desprende del pez y la larva se libera en el sustrato, volviendo a la fase de vida libre (Felipi & Silva-Souza, 2008). Las lesiones inducidas por los parásitos son mínimas, sobre todo teniendo en cuenta que la infección es temporal y dura hasta que la larva completa su metamorfosis (Felipi & Silva-Souza, 2008). Sin embargo, el parasitismo por larvas de bivalvos puede reducir el

crecimiento del hospedador, aumentar la sensibilidad del pez a los contaminantes, posibilitar infecciones secundarias por patógenos oportunistas, principalmente hongos y, dependiendo de la intensidad, provocar la muerte del hospedador (Felipi & Silva-Souza, 2008). En consecuencia, se desaconsejaría el policultivo con algunas especies de peces en piscifactorías donde el cultivo principal son los peces. No obstante, se podría considerar la viabilidad del cultivo donde los peces sirvan como medio de reproducción para los moluscos, promoviendo una coexistencia beneficiosa.

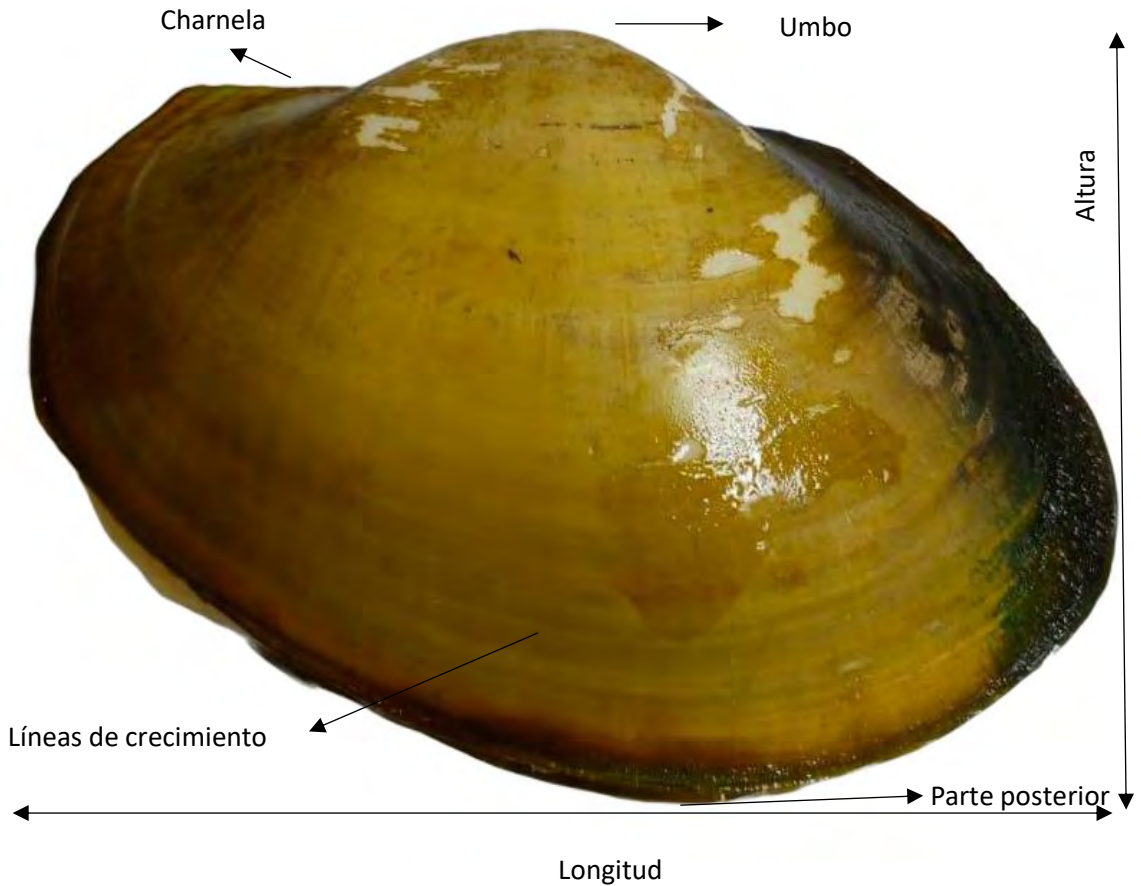


Figura 1. Adulto de *Anodontites trapesimalis* con valva cerrada.

La Almeja de agua dulce *A. trapesialis*, es notorio por su gran tamaño, algunos individuos alcanzan más de 20 cm (Felipi & Silva-Souza, 2008), presenta conchas con una longitud promedio de 15 cm y un peso de 60 g, compuestas por tres capas: el periostraco, la capa prismática y la capa nacarada (Callil & Mansur, 2005). Este bivalvo exhibe un crecimiento rápido y una alta fecundidad, siendo un espécimen de 10 cm capaz de generar entre 3,200 y 3,500 larvas (Silva et al., 2021). Las adaptaciones observadas en *A. trapesialis* sugieren una evolución acorde con los sistemas dinámicos de humedales tropicales (Callil et al., 2018). Las gónadas en estos ejemplares se encuentran en la masa visceral, entre las curvas de los conductos alimentarios (Felipi & Silva-Souza, 2008). El ciclo reproductivo de *A. trapesialis* y la asignación de energía para su crecimiento están estrechamente vinculados al ciclo hidrológico impuesto por los pulsos de inundación en los humedales (Callil et al., 2018). La fecundidad de *A. trapesialis* guarda una relación directamente proporcional con el tamaño de la almeja, evidenciando que los individuos más grandes tienen una descendencia más abundante que los más pequeños (Callil et al., 2018).

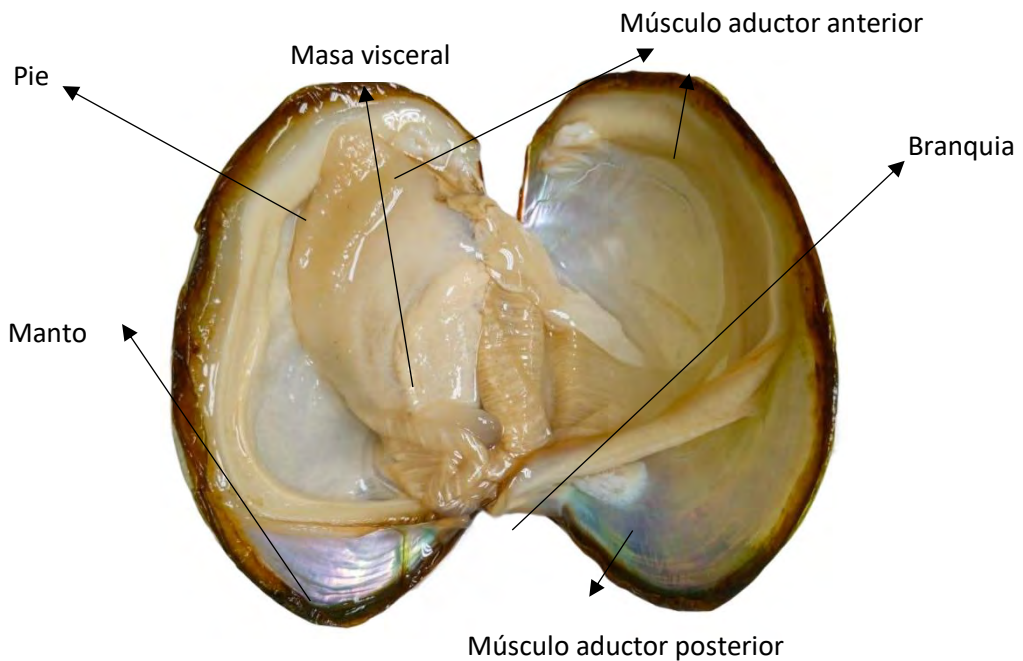


Figura 2. Almeja adulta de *A. trapesialis* con la valva abierta mostrando tejidos y órganos.

El molusco bivalvo *A. trapesialis* ha desarrollado estrategias biológicas notables, evidenciadas por su pie ancho especializado en la excavación (Cândido & Romero, 2007). Su capacidad para excavar en sustratos blandos y ocupar el mismo lugar durante prolongados periodos de tiempo resalta la adaptabilidad única de esta especie (Felipi & Silva-Souza, 2008). El anclaje al sustrato, impulsado por la potente fuerza del pie, se encuentra intrínsecamente vinculado a la granulometría y cohesividad del sedimento circundante (Cândido & Romero, 2007). La relación entre la cohesividad y la granulometría se manifiesta claramente, ya que los granos más finos aumentan la cohesividad del sedimento (Alexander *et al.*, 1993). En entornos más cohesivos, *A. trapesialis* exhibe una mayor capacidad para anclarse al sustrato y arrastrar sedimento durante sus ciclos de excavación (Alexander *et al.*, 1993). Esta característica distintiva confiere a *A. trapesialis* una ventaja adaptativa sobre otros moluscos bivalvos, permitiéndole maximizar su tiempo de supervivencia al optimizar la eficiencia energética, especialmente durante condiciones ambientales desfavorables (Cândido & Romero, 2007).

Las almejas de mayor tamaño demuestran habilidades superiores para enterrarse y escapar rápidamente, lo que sugiere que tienen mayores oportunidades de sobrevivir a desafíos ambientales como la desecación (Paschoal *et al.*, 2020). En el contexto de un embalse analizado, los individuos de mayor tamaño podrían beneficiarse al enterrarse y aprovechar microhábitats húmedos, lo que potencialmente los hace más aptos para la reproducción (Paschoal *et al.*, 2020).

Múltiples factores ecológicos influyen en la distribución de *A. trapesialis*, incluyendo el tipo de sustrato, la disponibilidad de alimento, la presencia de peces nativos como hospederos de sus larvas y la profundidad del entorno (Paschoal *et al.*, 2015; Paschoal *et al.*, 2020). El sustrato arcilloso compuesto por partículas finas favorece la colonización y excavación de estas almejas, proporcionando refugio contra depredadores y desecación (Cândido & Romero, 2006, 2007). *A. trapesialis* muestra preferencia por regiones con menor caudal fluvial, ricas en fitoplancton (fuente alimenticia) y materia orgánica (Desimone, 1994). La distribución del tamaño de *A. trapesialis* está modulada por la profundidad, con los juveniles ocupando zonas más profundas y, por lo tanto,

siendo menos afectados por fluctuaciones en el nivel del agua en comparación con los adultos grandes (Paschoal et al., 2020).

*A. trapesialis*, destacándose por su distintiva forma trapezoidal, exhibe valvas de espesor relativamente fino (Felipi & Silva-Souza, 2008). La región anterior inferior presenta un extremo redondeado, ligeramente proyectado por encima de la mitad de su altura (Felipi & Silva-Souza, 2008). El borde dorsal se presenta casi recto, mientras que el ventral exhibe una curvatura, siendo más pronunciado en la mitad posterior (Felipi & Silva-Souza, 2008). Los umbos, inflados y anchos, muestran picos poco evidentes (Felipi & Silva-Souza, 2008). El periostraco, de tonalidad marrón claro a oscuro, se presenta liso y brillante, con la posibilidad de presentar rayos marrones. La tonalidad del nácar es plateada o gris (Felipi & Silva-Souza, 2008).

En términos de comportamiento, *A. trapesialis* exhibe una notable tendencia a la agregación, con densidades que varían de 0,02 a 1 individuo por metro cuadrado (Paschoal et al., 2020). Esta agregación se atribuye a la heterogeneidad ambiental de la zona, donde los bivalvos tienden a agruparse en microambientes más propicios para su modo de vida (Paschoal et al., 2015). Este comportamiento se ve acentuado por la dificultad inherente en la recolección de estas almejas, ya que residen enterrados en sustratos profundos, alcanzando hasta 15 metros de profundidad (Paschoal et al., 2020). Además, su considerable tamaño corporal complica la obtención de individuos mediante dispositivos de recolección convencionales, como redes y muestreadores de succión o de cuchara (Paschoal et al., 2020).

*A. trapesialis* desempeña un papel crucial en los ecosistemas acuáticos, no solo como componente de la cadena alimentaria, sino también como recurso para la población local (Loayza-Muro & Elías-Letts, 2007). Su alto contenido proteico la convierte en una fuente valiosa de alimento para aves acuáticas, mamíferos acuáticos y comunidades locales que dependen de sus recursos naturales (Loayza-Muro & Elías-Letts, 2007).

La sincronización entre la composición de la ictiofauna y el número de *A. trapesialis* incubados revela un sinergismo entre factores endógenos y exógenos en la reproducción de los bivalvos de agua dulce (Callil et al., 2012). El

conocimiento detallado de la relación parásito-hospedador y los aspectos reproductivos de los unionoides, en particular de *A. trapesialis*, no solo contribuye a la comprensión biológica de la especie, sino que también se convierte en una herramienta esencial para su preservación (Callil *et al.*, 2012). La vulnerabilidad de la fase juvenil de los bivalvos ante perturbaciones ambientales subraya la necesidad crítica de una gestión equilibrada de los ecosistemas acuáticos que albergan a *A. trapesialis* (Kneeland & Rhymer, 2007). La disminución de la abundancia de peces o la introducción de especies exóticas pueden afectar drásticamente el éxito reproductivo de estos moluscos de agua dulce, resaltando la importancia de abordar los desafíos ambientales de manera integral (Kneeland & Rhymer, 2007).

*A. trapesialis* presenta ritmos lentos de excavación y desplazamiento (Paschoal *et al.*, 2020; Pilger & Gido, 2012). Esta característica adquiere relevancia cuando se enfrenta a eventos climáticos extremos, como sequías (Paschoal *et al.*, 2020; Pilger & Gido, 2012). Durante estas condiciones, la especie puede quedar varada en el sedimento, siendo vulnerable a la desecación y a los depredadores, lo que conduce a una mortalidad masiva en la población (Paschoal *et al.*, 2020; Pilger & Gido, 2012). Aunque se ha observado mortalidad masiva durante la sequía, la presencia de ejemplares vivos en canales específicos demuestra la capacidad de adaptación de la especie a diversas condiciones ambientales, incluso en situaciones de estrés hídrico (Paschoal *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2014).

La plasticidad de la población de *A. trapesialis* en embalses artificiales ha permitido a la especie sobrevivir a las fluctuaciones de los niveles de agua, una capacidad que no se observa tan rápidamente en ambientes naturales (Paschoal *et al.*, 2020). Comprender estas interacciones dentro de su entorno ecológico es crucial para desarrollar estrategias efectivas de gestión y conservación de las poblaciones de *A. trapesialis* (Paschoal *et al.*, 2020).

La mortalidad masiva de *A. trapesialis* tiene consecuencias significativas en el ecosistema acuático (Bódis *et al.*, 2014). Este fenómeno favorece la entrada de nutrientes y biomasa, elevando la concentración de nutrientes y aumentando la productividad primaria en la zona afectada (Bódis *et al.*, 2014). Además, la mortalidad masiva de estos bivalvos contribuye al incremento de la

concentración de materia orgánica en el sedimento, llegando a multiplicarla entre dos y seis veces (Paschoal et al., 2020). Las valvas de *A. trapesialis* muertas también pueden triplicar la concentración de calcio en la zona afectada (Paschoal et al., 2020).

A pesar de no estar amenazada por la explotación comercial, *A. trapesialis* enfrenta riesgos ambientales (Loayza-Muro & Elías-Letts, 2007). La especie, debido a su comportamiento sedentario y eficiente capacidad de filtración, se ha convertido en un organismo centinela en estudios de monitorización ambiental (Callil et al., 2012; Lopes et al., 1992). Funciona como biomarcador eficaz para evaluar la presencia de pesticidas y metales pesados como mercurio, plomo y cadmio, contribuyendo a la evaluación de la calidad ambiental en entornos acuáticos (Callil et al., 2012; Lopes et al., 1992). *A. trapesialis* muestra potencial de bioacumulación y susceptibilidad a nanopartículas de Ag, destacando la necesidad de preferir fungicidas a base de TiO<sub>2</sub> y Fe a los que esta especie no es susceptible en lugar de Ag en áreas cercanas a la pesquería de este recurso (Tesser et al., 2022).

La modificación del hábitat causada por represas, específicamente el control del nivel del agua, junto con los cambios climáticos, puede restringir las poblaciones de *A. trapesialis* (Bogan, 2008; Haag & Williams, 2014). Este fenómeno se considera una causa significativa de la disminución y extinción de bivalvos (Bogan, 2008; Haag & Williams, 2014).

En Brasil, dada la importancia económica y su papel como indicadores de calidad ambiental, *A. trapesialis* está incluida en la lista nacional de especies amenazadas en algunos países (Felipi & Silva-Souza, 2008). Para abordar esta problemática, se requieren estudios específicos que se enfoquen en el ciclo de mantenimiento, reproducción y desarrollo de la especie en diversos entornos acuáticos (Felipi & Silva-Souza, 2008).

### Alternativa para la acuicultura

A pesar de encontrarse en la lista de especies en peligro de extinción en Brasil, *A. trapesialis* emerge como una alternativa viable para la acuicultura. Su presencia abundante en estanques de piscifactorías la posiciona como una



fuentes prometedoras de proteína alternativa con bajo contenido lipídico y calórico, equiparable al valor nutritivo del pescado (Callil et al., 2012; Felipi & Silva-Souza, 2008; Silva et al., 2021).

El bivalvo no solo es valioso por su tejido blando, sino que también puede aprovecharse sus valvas (Silva et al., 2021). La variabilidad en las composiciones específicas de las valvas de diferentes moluscos bivalvos, incluyendo *A. trapesialis*, abre posibilidades para diversos usos, como correctores de pH del suelo, carbonatos de calcio, fertilizantes, mezclas en la alimentación de animales domésticos y el nácar puede emplearse para fabricar botones y artesanías (Felipi & Silva-Souza, 2008; Piwoni-Piórewicz et al., 2022; Silva et al., 2021; Summa et al., 2022). La composición química única de *A. trapesialis* sugiere aplicaciones extensas, desde alimentación animal y suplementos alimenticios, especialmente en la suplementación mineral, hasta potenciales usos en la alimentación humana como suplementos y sustitutos en la industria alimentaria (Klunklin & Savage, 2018a, 2018b). Además, especies relacionadas, como *Anodonta* sp., presentan un potencial interesante para la producción de perlas, aprovechando su capa de nácar multicolor y lustroso (Saucedo et al., 2021).

El análisis bromatológico de *A. trapesialis* permitió determinar que el tejido blando varía entre 40,42 y 62,76 g por almeja, con un contenido de humedad del 86,5% (Silva et al., 2021). Destaca por ser una fuente rica en proteínas, superando a otras especies de ostras y bivalvos (Silva et al., 2021). La Almeja de *A. trapesialis* exhibe 42,6% de proteína bruta, 3,16% de extracto etéreo, y 0,76% de fibra bruta en su tejido blando (Silva et al., 2021), nivel de proteína mayor incluso a la *Crassostrea gigas*, que es una especie de ambiente marino.

Adicionalmente, se ha observado que los nutrientes digestibles totales alcanzan el 74,16% para el tejido blando, con un contenido de materia mineral de 18,43% para el tejido blando y un 52,83% para el tejido blando + valvas (Silva et al., 2021). En términos de minerales, destaca el alto contenido de óxido de calcio (49,83%), superando otras fuentes como la ceniza de hueso bovino (33%) y la harina de hueso (13,65%) (Silva et al., 2021).

En el contexto del mercado ecuatoriano, *A. trapesialis* tiene un mercado establecido. Los pescadores locales obtienen utilidades significativas mediante la

extracción de este recurso de embalses artificiales y cuencas naturales. Los consumidores también se benefician de este producto, que experimenta una creciente demanda en el mercado nacional de la región costa. Sin embargo, la pesquería se ve afectada por condiciones climáticas, especialmente cuando el nivel del agua aumenta debido a las lluvias, incrementando la turbidez agua con materia orgánica proveniente de la escorrentía

## Perspectivas

*A. trapesialis* se posiciona como una opción de alto potencial para diversificar la acuicultura en Ecuador. Su destacada adaptabilidad, rápido crecimiento y beneficios ambientales la convierten en una alternativa atractiva para fortalecer la resiliencia del sector acuícola. No obstante, la implementación exitosa de esta alternativa requiere abordar cuidadosamente los desafíos identificados y realizar investigaciones adicionales.

- Una propuesta de cultivo para *A. trapesialis* radica en su producción en embalses artificiales con agua perenne, ubicados en ecosistemas controlados que actualmente no son aprovechados para la pesquería ni la acuicultura convencional. Este enfoque busca no solo la expansión de la acuicultura, sino también la conservación y preservación de las especies nativas en dichos ecosistemas.
- Es esencial establecer un marco legal que abarque planes de manejo bajo la supervisión de organismos competentes para garantizar la sostenibilidad de los bancos naturales.
- En la actualidad, no existen datos cuantitativos ni evaluaciones de este recurso en Ecuador, y se necesita investigación sobre su cadena de valor.
- El seguimiento continuo de las poblaciones naturales de bivalvos, sobre todo en entornos de transición ambiental, es crucial debido a la elevada tasa de extinción observada en estos organismos (Garrigue et al., 2008; Lydeard et al., 2004).

- Existen pocos informes a nivel mundial y ninguno en Ecuador sobre los daños de este parasitismo en sus hospedadores y con la intensificación de la demanda piscícola esta información adquiere relevancia (Valladao *et al.*, 2017).
- Estudios adicionales son necesarios para analizar la interacción de los bancos naturales de *A. trapesialis* con las pesquerías locales y explorar tecnologías de reproducción para repoblación y su cultivo en sistemas de recirculación y en acuicultura integrada multitrófica (IMTA).
- La implementación de un programa de mejoramiento genético se presenta como una necesidad imperante. A través de técnicas avanzadas de selección de reproductores, se busca impulsar la obtención de una descendencia caracterizada por un alto rendimiento
- La investigación actual debería enfocarse en el desarrollo de dietas innovadoras en acuicultura, con el objetivo principal de reducir los costos de cultivo y acelerar el tiempo de engorde.
- Considerando factores ambientales como El Niño y el cambio climático, se debe investigar el impacto en las poblaciones de *A. trapesialis*, explorar su potencial como sumidero de carbono azul y evaluar su papel en la prestación de servicios ecosistémicos.
- Estudios futuros pueden abordar la influencia de la ubicación geográfica y la variación estacional en las características bromatológicas de los bancos naturales de *A. trapesialis* (Chakraborty *et al.*, 2016).
- Se destaca el papel crucial que *A. trapesialis* podría desempeñar como organismo centinela. Su monitoreo puede ser instrumental para detectar contaminación por pesticidas y metales pesados en cuerpos de agua ecuatorianos, especialmente aquellos cercanos a zonas agrícolas y mineras
- Posterior a la generación ~~adquisición~~ del paquete tecnológico de cultivo de *A. trapesialis*, es imperativo impulsar la práctica de acuicultura de esta

especie entre los productores acuícolas y los consumidores. Para lograrlo de manera efectiva, se sugiere la implementación de campañas integrales de divulgación y capacitación. Estas iniciativas no solo informarán sobre las ventajas y técnicas de cultivo, sino que también educarán a los interesados en los beneficios ambientales y económicos asociados con la acuicultura de *A. trapesialis*. Este enfoque estratégico contribuirá al crecimiento sostenible de la actividad acuícola y fomentará una mayor aceptación del producto en el mercado.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de la acuicultura de *A. trapesialis* podría contribuir al desarrollo de la acuicultura en Ecuador de diversas maneras. En primer lugar, podría generar oportunidades económicas para los productores acuícolas. En segundo lugar, podría contribuir a la seguridad alimentaria del país, proporcionando una fuente de proteína animal sostenible. En tercer lugar, podría contribuir a la conservación de los recursos naturales, al reducir la presión sobre otras especies de bivalvos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento otorgado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) - Ecuador / Contrato Nro. CZ05-000735-2018, así como la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) – Chile / Subdirección de Capital Humano / Beca de Doctorado Nacional 2019 - Folio 21190791, ANID-Chile, FONDAP #1523A0007, y FONDECYT #1210852, y el Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) – Ecuador.

## REFERENCIAS

- Alexander, R., Stanton, R., & Dodd, J. (1993). Influence of Sediment Grain Size on the Burrowing of Bivalves: Correlation with Distribution and Stratigraphic Persistence of Selected Neogene Clams [Article]. *Palaios*, 8(3), 289-303. <https://doi.org/10.2307/3515151>
- Allen, P., Brokordt, K., Oliva, M., Alveal, K., Flores, H., & Alvarez, C. (2021). Physiological insights for aquaculture diversification: Swimming capacity and efficiency, and metabolic scope for activity in cojinoba *Seriolella violacea* [Article]. *Aquaculture*, 531, 1-11, Article 735968. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735968>
- Bogan, A. (2008). Global diversity of freshwater mussels (Mollusca, Bivalvia) in freshwater [Article]. *Hydrobiologia*, 595, 139-147. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9011-7>
- Bódis, E., Tóth, B., & Sousa, R. (2014). Massive mortality of invasive bivalves as a potential resource subsidy for the adjacent terrestrial food web [Article]. *Hydrobiologia*, 735(1), 253-262. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1445-5>
- Cai, J., Chan, H., Yan, X., & Leung, P. (2023). A global assessment of species diversification in aquaculture [Article]. *Aquaculture*, 576, 1-13, Article 739837. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739837>
- Callil, C., Krinski, D., & Silva, F. (2012). Variations on the larval incubation of *Anodontites trapesialis* (Unionoida, Mycetopodidae): Synergetic effect of the environmental factors and host availability [Article]. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3), 545-552. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842012000300017>
- Callil, C., Leite, M., Mateus, L., & Jones, J. (2018). Influence of the flood pulse on reproduction and growth of *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mycetopodidae) in the Pantanal wetland, Brazil [Article]. *Hydrobiologia*, 810(1), 433-448. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3097-3>

- Callil, C., & Mansur, M. (2005). Ultrastructural analysis of the shells of *Anodontites trapesialis* (Lamarck) and *Anodontites elongatus* (Swaison) (Mollusca, Bivalvia, Etherioldea) from the Mato Grosso Pantanal Region, Brazil [Article]. *Revista Brasileira De Zoologia*, 22(3), 724-734. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000300033>
- Callil, C., & Mansur, M. (2007). Gametogenesis and dynamics of the reproduction of *Anodontites trapesialis* (Lamarck) (Unionoida, Mycetopodidae) from baia do polo lake at the cuiaba river wetland, mato grosso, Brazil [Article]. *Revista Brasileira De Zoologia*, 24(3), 825-840. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752007000300033>
- Chakraborty, K., Chakkalakal, S., Joseph, D., & Joy, M. (2016). Nutritional Composition of Edible Oysters (*Crassostrea madrasensis* L.) from the Southwest Coast of India [Article]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(8), 1172-1189. <https://doi.org/10.1080/10498850.2015.1039682>
- Cândido, L., & Romero, S. (2006). Heart rate and burrowing behavior in the mussel *Anodontites trapesialis* (Bivalvia: Mycetopodidae) from lotic and lentic sites [Article]. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology*, 145(1), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.05.011>
- Cândido, L., & Romero, S. (2007). A contribution to the knowledge of the behaviour of *Anodontites trapesialis* (Bivalvia: Mycetopodidae): The effect of sediment type on burrowing [Article]. *Belgian Journal of Zoology*, 137(1), 11-16.
- Desimone, L. (1994). Anatomical characters and systematics of *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) from South America (Mollusca, Bivalvia, Unionoida, Muteloidea) [Article]. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 29(3), 169-185. <https://doi.org/10.1080/01650529409360929>
- Felipi, P., & Silva-Souza, A. (2008). *Anodontites trapesialis* (LAMARCK, 1819): a bivalve parasite of freshwater fishes [Article]. *Semina-Ciencias Agrarias*, 29(4), 895-903.

- Garrigue, C., Patenaude, N., & Marsh, H. (2008). Red List of threatened species [Article]. *Marine Mammal Science*, 24(1), 81-90. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2007.00173.x>
- Graf, D., & Cummings, K. (2007). Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida) [Review]. *Journal of Molluscan Studies*, 73, 291-314. <https://doi.org/10.1093/mollus/eym029>
- Haag, W., & Williams, J. (2014). Biodiversity on the brink: an assessment of conservation strategies for North American freshwater mussels [Article]. *Hydrobiologia*, 735(1), 45-60. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1524-7>
- Klunklin, W., & Savage, G. (2018a). Addition of defatted green-lipped mussel powder and mixed spices to wheat-purple rice flour biscuits: Physicochemical, in vitro digestibility and sensory evaluation [Article]. *Food Science & Nutrition*, 6(7), 1839-1847. <https://doi.org/10.1002/fsn3.675>
- Klunklin, W., & Savage, G. (2018b). Physicochemical Properties and Sensory Evaluation of Wheat-Purple Rice Biscuits Enriched with Green-Lipped Mussel Powder (*Perna canaliculus*) and Spices [Article]. *Journal of Food Quality*, 1-9, Article 7697903. <https://doi.org/10.1155/2018/7697903>
- Kneeland, S., & Rhymer, J. (2007). A molecular identification key for freshwater mussel glochidia encysted on naturally parasitized fish hosts in Maine, USA [Article]. *Journal of Molluscan Studies*, 73, 279-282. <https://doi.org/10.1093/mollus/eym017>
- Loayza-Muro, R., & Elías-Letts, R. (2007). Responses of the mussel *Anodontites trapesialis* (Unionidae) to environmental stressors: Effect of pH, temperature and metals on filtration rate [Article]. *Environmental Pollution*, 149(2), 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.003>
- Lopes, J., Casanova, I., Defigueireido, M., Nather, F., & Avelar, W. (1992). *Anodontites trapesialis*: A biological monitor of organochlorine pesticides [Article]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 23(3), 351-354. <https://doi.org/10.1007/bf00216244>

- Lydeard, C., Cowie, R., Ponder, W., Bogan, A., Bouchet, P., Clark, S., . . . Thompson, F. (2004). The global decline of nonmarine mollusks [Article]. *Bioscience*, 54(4), 321-330. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0321:tgdonm\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0321:tgdonm]2.0.co;2)
- Newton, R., Zhang, W., Xian, Z., McAdam, B., & Little, D. (2021). Intensification, regulation and diversification: The changing face of inland aquaculture in China [Article]. *Ambio*, 50(9), 1739-1756. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01503-3>
- Paschoal, L., Andrade, D., & Darrigran, G. (2015). How the fluctuations of water levels affect populations of invasive bivalve *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) in a Neotropical reservoir? [Article]. *Brazilian Journal of Biology*, 75(1), 135-143. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.09113>
- Paschoal, L., Andrade, D., Pimpao, D., Torres, S., & Darrigran, G. (2020). Massive mortality of the giant freshwater mussel *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mycetopodidae) during a severe drought in a Neotropical reservoir [Article]. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias*, 92, 1-13, Article e20180811. <https://doi.org/10.159010001-3765202020180811>
- Pereira, D., Mansur, M., Duarte, L., de Oliveira, A., Pimpao, D., Callil, C., . . . Lasso, C. (2014). Bivalve distribution in hydrographic regions in South America: historical overview and conservation [Article]. *Hydrobiologia*, 735(1), 15-44. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1639-x>
- Pilger, T., & Gido, K. (2012). Variation in Unionid Assemblages between Streams and a Reservoir within the Kansas River Basin [Article]. *American Midland Naturalist*, 167(2), 356-365. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-167.2.356>
- Piwoni-Piórewicz, A., Strekopytov, S., Humphreys-Williams, E., Najorka, J., Szymczycha, B., & Kuklinski, P. (2022). Polymorphism of CaCO<sub>3</sub> and the variability of elemental composition of the calcareous skeletons secreted by invertebrates along the salinity gradient of the Baltic Sea [Article]. *Geobiology*, 20(4), 575-596. <https://doi.org/10.1111/gbi.12496>



- Saucedo, P., Acosta-Salmón, H., McLaurin-Moreno, D., Castillo-Domínguez, A., Melgar-Valdés, C., & Mazón-Suástegui, J. (2021). Freshwater pearl culture in Mexico: historic context, present status and future perspectives [Article]. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), 1379-1396. <https://doi.org/10.1111/raq.12527>
- Silva, D., Gonçalves, B., de Freitas, P., & Neto, C. (2021). Bromatological study of the freshwater bivalve *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Unionida, Mycetopodidae) [Article]. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(3), 465-475. <https://doi.org/10.3856/vol49-issue3-fulltext-2659>
- Silva-Souza, A., Guardia-Felipi, P., & Arrebola, N. (2011). Embryonic development of *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mycetopodidae) [Article]. *Brazilian Journal of Biology*, 71(1), 139-144. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842011000100020>
- Summa, D., Lanzoni, M., Castaldelli, G., Fano, E. A., & Tamburini, E. (2022). Trends and Opportunities of Bivalve Shells' Waste Valorization in a Prospect of Circular Blue Bioeconomy [Review]. *Resources-Basel*, 11(5), 1-16, Article 48. <https://doi.org/10.3390/resources11050048>
- Tesser, M., Guilger, M., Bilesky-José, N., Risso, W. E., de Lima, R., & Martinez, C. (2022). Biogenic metallic nanoparticles (Ag, TiO<sub>2</sub>, Fe) as potential fungicides for agriculture: are they safe for the freshwater mussel *Anodontites trapesialis*? [Article]. *Chemosphere*, 309, 1-11, Article 136664. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136664>
- Torres, S., Cao, L., Gregoric, D., de Lucía, M., Brea, F., & Darrigran, G. (2018). Distribution of the Unionida (Bivalvia, Paleoheterodonta) from Argentina and its conservation in the Southern Neotropical Region [Article]. *Plos One*, 13(9), 1-15, Article e0203616. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203616>
- Valladao, G., De Pádua, S., Levy-Pereira, N., Farias, T., & Pilarski, F. (2017). Pathological assessment of exotic channel catfish infected by South American *Anodontites trapesialis* from Brazilian fish farm [Article]. *Aquaculture Research*, 48(7), 3975-3979. <https://doi.org/10.1111/are.13075>

Wang, Q., Rossignoli, C., Dompok, E., Su, J., Ali, S., Karim, M., & Gasparatos, A. (2023). Sustainable intensification of small-scale aquaculture production in Myanmar through diversification and better management practices [Article]. *Environmental Research Letters*, 18(1), 1-18, Article 015002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acab16>



# Potencial de producción de perlas de abalón (*Haliotis* spp.): Un caso de éxito con *Haliotis rufescens* en Chile

Potential for abalone (*Haliotis* spp.) pearl production: A case of success with *Haliotis rufescens* in Chile

Pedro E. Saucedo<sup>1</sup>, Rubén Araya<sup>2</sup>,  
Jaime Maturana<sup>3</sup>, Alejandro Rojas-Figueroa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Programa de Acuicultura.  
La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Naturales Alexander von Humboldt,  
Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos,  
Universidad de Antofagasta, Antofagasta, Chile

<sup>3</sup>Proyecta Consultores SpA, Abalone Pearl Technology,  
Santiago, Chile.

<sup>4</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,  
Doctorado en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales.  
La Paz, Baja California Sur, México

Pedro E. Saucedo   [psaucedo04@cibnor.mx](mailto:psaucedo04@cibnor.mx)

## Palabras clave |

Abalón,  
ostras perleras,  
cultivo de perlas,  
América Latina,  
Atacama Pearls.

**RESUMEN** | El cultivo de perlas de abalón es una actividad acuícola con un gran potencial de crecimiento y diversificación de la industria perlera mundial, la cual ha estado dominada por décadas por tres especies de ostras perleras del género *Pinctada*. A pesar de este potencial, existe un desconocimiento sobre la aplicación de la técnica de injerto de núcleos y el proceso de formación de perlas en el abalón, en comparación con el bien estudiado modelo de la ostra perlera. Este trabajo compara las principales diferencias anatómicas entre ambos grupos de moluscos, particularmente aquellas que inciden en la iridiscencia y color del nácar y la perla. Se analizan también las ventajas y desventajas de la adopción en el abalón de las técnicas desarrolladas originalmente para las ostras perleras para producir perlas barrocas y medias perlas (mabé). En el caso concreto del

abalón rojo *Haliotis rufescens*, se presenta información sobre la producción comercial de perlas barrocas y mabés como un caso de éxito en América Latina (Chile). Por último, se analizan las perspectivas a futuro del cultivo de perlas de abalón como actividad acuícola, evaluando los retos por enfrentar para que esta industria alcance todo su potencial en la región.

## Keywords |

Abalone,  
pearl oysters,  
pearl culture,  
Latin America,  
Atacama Pearls.

**ABSTRACT** | Abalone pearl culture is an aquaculture activity with great potential for future growth and diversification of the global pearl sector, which has been dominated for decades by three species of pearl oysters of the genus *Pinctada*. Despite this potential, there is a lack of knowledge on application of the bead seeding technique and the process of pearl formation in abalone, compared to the well-studied pearl oyster model. This work compares the main anatomical differences between the two mollusk groups, particularly those influencing the iridescence and color of nacre. The advantages and disadvantages of adopting in abalone the techniques originally developed for pearl oysters to produce baroque pearls and half pearls (mabé) are also analyzed. For the red abalone *Haliotis rufescens* in particular, information on the commercial production of baroque pearls and mabés is presented as a case of success in Latin America (Chile). Finally, the future prospects of abalone pearl farming are analyzed, evaluating the challenges to be faced for this sector to reach its full potential in the region.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de perlas (perlicultura) es una actividad acuícola que ha estado dominada por décadas por tres especies de ostras perleras marinas del género *Pinctada*: *Pinctada fucata*, *Pinctada margaritifera* y *Pinctada maxima* (Southgate, 2021; Zhu et al., 2019). Hoy en día, esta actividad se encuentra muy consolidada en varios países del Sureste Asiático y el Pacífico Sur (Taylor y Strack, 2008), donde genera ingresos cercanos a los USD\$400 millones anuales (Saucedo et al., 2023). Adicionalmente, la perlicultura ofrece a la población local fuentes de empleo y oportunidades de subsistencia a través de la manufactura de joyería y artesanía elaborada de la concha y el nácar (Saidi et al., 2017; Johnston et al., 2020). Sin embargo, una sobreproducción de perlas cultivadas (Akoya y Black Pearls) ha venido provocando en las últimas décadas una caída del 40 a 60% en los precios

y ventas de estas perlas en los mercados internacionales (Shor, 2007). Una estrategia para evitar este problema, y ayudar a la industria perlera a diversificarse globalmente, es la inclusión de otras especies de moluscos capaces de producir perlas de alta calidad en colores diferentes a los ya conocidos por las ostras perleras. Este es el caso del abalón (*Haliotis* spp.), cuyo nácar metálico, iridiscente y de colores tornasol es muy valorado por joyeros y gemólogos y podría ofrecer una ventaja competitiva frente a las perlas de las ostras perleras (Rojas-Figueroa *et al.*, 2019, 2023; Saucedo *et al.*, 2023).

En el mundo existen más de 70 especies de abalón, de las cuales solo unas 15 se cultivan mediante la acuicultura, debido a que su pesquería comenzó a disminuir significativamente a principios de los 2000s por la sobrepesca, la pesca ilegal y el cambio climático global (Cook, 2016; Nguyen *et al.*, 2022). En consecuencia, hoy en día muchas de las especies de abalón de interés comercial se encuentran en peligro de extinción y sus poblaciones naturales están muy disminuidas o agotadas (Morales-Bojórquez *et al.*, 2008). A pesar de ello, el interés por el cultivo de abalón sigue creciendo a nivel global, junto con una demanda constante y precios altos y estables por este recurso (FAO, 2022). El principal producto que se aprovecha del abalón es el músculo, el cual se exporta a muchos países como medallón enlatado tipo gourmet. Sin embargo, la perlicultura de abalón es aún incipiente, pero tiene un gran potencial de crecimiento en algunos países del mundo (Saucedo *et al.*, 2015). En América Latina en particular, este potencial es aún mayor debido a que existen cinco especies distribuidas en el Pacífico Occidental: el abalón rojo (*Haliotis rufescens*), abalón azul (*Haliotis fulgens*), abalón amarillo (*Haliotis corrugata*), abalón negro (*Haliotis cracherdodii*) y abalón blanco (*Haliotis sorensenii*) (Cook, 2016). En algunos países, el cultivo integral de la carne y perlas incluso representa una alternativa acuícola que puede resultar económicamente viable. Este es el caso de México (Monteforte y Bervera, 2010) y Chile (Araya *et al.*, 2016), que adoptaron este esquema de cultivo mixto en las últimas dos décadas y hoy reportan resultados alentadores. Este trabajo se centra exclusivamente en el cultivo de perlas de *H. rufescens* en Chile, el cual se escaló desde el nivel experimental-piloto al nivel comercial como un caso de éxito en este país.

*H. rufescens* fue introducido a Chile en los 1980s (Flores-Aguilar *et al.*, 2007) y actualmente se cultiva en las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso y Los

Lagos, donde alcanza niveles de exportación superiores a las 317 toneladas anuales (Sernapesca, 2020). Desde 2012, la Universidad de Antofagasta (UA), en colaboración con el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste de México (CIBNOR), han venido desarrollando un proyecto CyT dirigido a impulsar la perlicultura en el norte de Chile, abordando trabajos de ciencia básica y desarrollo tecnológico, de la mano de productores regionales (Saucedo et al., 2015). Estos trabajos de I+D+I han generado propiedad intelectual (patente) en Chile y otros países productores de abalón (Araya et al., 2016); también han abierto una ventana de oportunidad para la expansión de la industria de cultivo de abalón en Chile, no solo por la demanda bien establecida de carne que ya existe, sino por el valor agregado que ofrece el cultivo de perlas, como una actividad novedosa en el país, y en América Latina en general.

## METODOLOGÍA

El grupo UA-CIBNOR dividió los trabajos de perlicultura de *H. rufescens* en tres etapas generales que se abordaron cronológicamente: (1) Pre-operatoria (anestesia); (2) Operatoria (cirugía de injerto) y (3) Post-operatoria (cultivo de perlas). La etapa pre-operatoria, que se evaluó entre 2012 y 2013, consistió en evaluar diferentes sustancias naturales o artificiales como anestésicos, con el fin de reducir el estrés de los animales, relajar al máximo sus tejidos blandos y facilitar su manipulación durante la cirugía de injerto (Rojas-Figueroa et al., 2023). Se reportan los resultados de estas investigaciones.

Una vez anestesiados, los animales pasan a la etapa operatoria, que ha sido la más difícil de adaptar en el abalón, no solo por su anatomía tan diferente en comparación con las ostras perleras (para las que fue desarrollada originalmente la técnica de injerto), sino por las complicaciones operativas que tiene, *per se*, dicha cirugía (Saucedo et al., 2015; Araya et al., 2016). En ostras perleras, cada animal anestesiado se coloca en una base especial de injerto con las valvas entreabiertas mediante una cuña de madera, se hace una incisión en la base de la gónada y un núcleo esférico elaborado de concha, junto con una pieza de manto proveniente de una ostra donadora (denominado saibo), se colocan en una estructura de la ostra receptora llamada 'asa intestinal' o 'saco perlero' (Taylor y Strack, 2008; Saucedo et al., 2023). En el abalón, que posee una sola

valva, cada animal anestesiado es colocado boca arriba para exponer sus tejidos blandos y la zona donde se realiza el injerto; hasta ahora el núcleo y saibo se colocan en dos sitios entre la gónada y la glándula digestiva (Saez-Saavedra et al., 2024a) (ver resultados). Esta etapa se evaluó experimentalmente de 2013 a 2019 y a escala comercial a partir del 2021. Se reportan los datos de mortalidad, aceptación de injertos y producción de perlas de *H. rufescens* en Chile.

Los animales injertados son observados primero en la etapa post-operatoria (convalecencia) por unas 48 a 72 h para detectar animales muertos o que hayan rechazado el injertado. Aquellos que sobrevivieron y retuvieron con éxito el injerto son transferidos a las instalaciones de la *Unidad de Cultivo de Abalón de la UA*, donde permanecen por espacio de 24 a 28 meses hasta la cosecha final de las perlas. Estas instalaciones consisten de raceways de 5 m<sup>3</sup> con flujo continuo de agua de mar recirculada (5000 L h<sup>-1</sup>; 1 L h<sup>-1</sup> de intercambio; 16 ± 1 °C (Dr. Ruben Araya, *obs. pers.*). Durante todo el periodo de cultivo, los animales se alimentan *ad libitum* con una monodieta constituida por la macroalga *Macrocytis pyrifera*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Etapa pre-operatoria

De todas las sustancias que se evaluaron como anestésicos para *H. rufescens* (benzocaína, aceite de clavo, fenoxi-etanol y CO<sub>2</sub>), la inyección de CO<sub>2</sub> a saturación en el agua de mar por 45 min resultó ser el mejor tratamiento para lograr una rápida relajación de los tejidos corporales y una recuperación completa de los animales en poco tiempo (Figs. 1 y 2). Con el CO<sub>2</sub>, además, se obtuvo la mayor proporción de organismos aptos para injerto y con menos efectos secundarios, como producción de moco, estrés oxidativo, daño oxidativo y mortalidad (Rojas-Figueroa et al., 2023). Por el contrario, el aceite de clavo (Eugenol) no se recomienda como anestésico para *H. rufescens*, debido a sus diversos efectos secundarios, en particular el aclaramiento de los tejidos y la alta tasa de mortalidad que causó en los animales. En términos comparativos, la respuesta a la anestesia reporta resultados contrastantes en ostras perleras (Saucedo et al., 2023) y abalón (Rojas-Figueroa et al., 2023), lo que indica que la

tolerancia a la anestesia es especie-dependiente, y muy probablemente, sustancia-, dosis- y tiempo-dependiente.

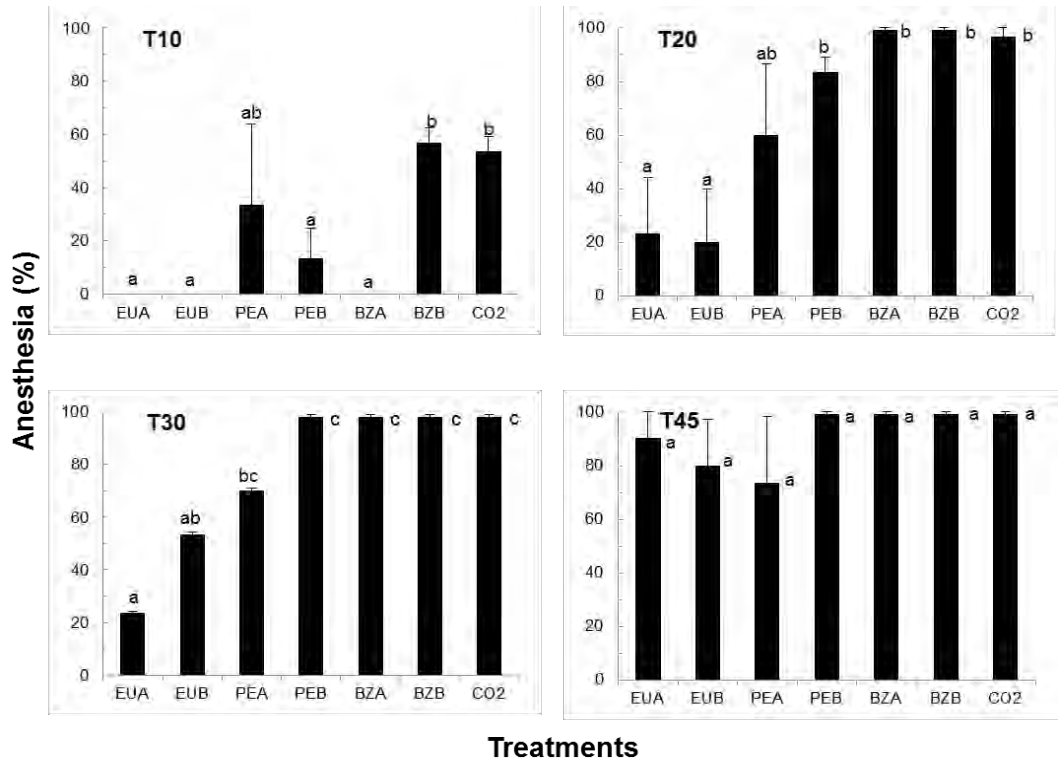


Figura 1. Variaciones temporales en los porcentajes de respuesta visual al estímulo en el abalón rojo *Haliotis rufescens* sometido a diferentes tipos y concentraciones de anestésicos. EUA: Eugenol a 0,15 mL L<sup>-1</sup>; EUB: Eugenol a 0,25 mL L<sup>-1</sup>; PEA: Fenoxietanol a 1,5 mL L<sup>-1</sup>; PEB: Fenoxietanol a 3,0 mL L<sup>-1</sup>; BZA: Benzocaína a 0,15 g L<sup>-1</sup>; BZB: Benzocaína a 0,30 g L<sup>-1</sup>; Los datos muestran la media ± DE. Speríndices diferentes entre columnas denotan diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05). Tomada de Rojas-Figueroa et al. (2023).

## Etapa operatoria

Los primeros ensayos de producción de perlas del grupo UA-CIBNOR (2013-2014) no fueron muy satisfactorios, básicamente por el gran desconocimiento que se tenía sobre la forma de adaptar en el abalón la técnica de injerto desarrollada



para ostras perleras. La mayor dificultad radicaba en las claras diferencias anatómicas entre ambos grupos de moluscos, las cuales se resumen en tres puntos principales: (1) El abalón, a diferencia de las ostras perleras, carece de un asa intestinal, lo que obligó a buscar un sitio diferente del cuerpo para colocar el núcleo y el saibo, y reducir con ello, las tasas de rechazo de injertos; (2) El abalón se desplaza activamente en busca de alimento, y su pie central de gran tamaño ejerce una presión constante sobre el sitio de injerto, lo cual provocaba un alto porcentaje de separación del núcleo y saibo que permanecen juntos por simple tensión superficial; al ocurrir esto, la perla no se forma. Este problema es menos frecuente en las ostras perleras que son sésiles y carecen de movilidad; y (3) El manto del abalón es mucho más delgado que el de las ostras perleras, además de que estructuralmente parece tener solo dos lóbulos funcionales en la región marginal, en comparación con los tres lóbulos de las ostras perleras (Saez-Saavedra *et al.*, 2024a). Esto exigió en el abalón una preparación diferente del saibo antes y durante la cirugía de injerto, pues al inicio (2013-2014) las perlas que se cosecharon estaban cubiertas únicamente por periostraco, no por nácar.



Figura 2. Ejemplar de abalón rojo *Haliotis rufescens* anestesiado con CO<sub>2</sub>, mostrando los tejidos blandos (músculo, manto, epipodio) completamente distendidos. Foto: Pedro E. Saucedo

Durante posteriores sesiones de injerto entre 2014 y 2018 se lograron avances significativos que se engloban en tres puntos principales: (1) Se identificaron dos sitios para la colocación del núcleo y el saibo, uno en la parte distal de la gónada (Fig. 3A) y otro en un espacio de la cavidad abdominal, entre la gónada y la glándula digestiva (Fig. 3B). De estos, el segundo sitio resultó el más adecuado para *H. rufescens* por las menores tasas de rechazo de núcleos que se tuvieron (ver abajo); (2) Se logró operar a los animales sin necesidad de una base de injerto e instrumentos especializados como los que se requieren con las ostras perleras; una tabla de madera desinfectada, un bisturí curvo y nucleadores de diferentes tamaños son suficientes para la cirugía (Figs. 3A y 3B); y (3) Se incorporó la sutura quirúrgica posterior al injerto, como una medida para cerrar la herida y reducir el riesgo de rechazo de los injertos (Fig. 3C). Esta estrategia no se utiliza con ninguna especie de ostra perlera en el mundo (Southgate, 2021; Zhu et al., 2019).

Con la adopción de estas estrategias, los datos de producción de perlas de *H. rufescens* en Chile mejoraron significativamente con respecto al 2013. Primero, se logró incrementar de unos 100 abalones (2013) a más de 6500 abalones (2023) que retuvieron con éxito el núcleo y estuvieron en condiciones de producir una perla. Estos abalones se han mantenido por un periodo de 24 a 30 meses hasta la cosecha de las perlas. Este tiempo es relativamente más largo que el periodo de 9 a 24 meses reportado para las ostras perleras (Haws, 2002; Taylor y Strack, 2008), básicamente porque la tasa de deposición de nácar es menor en el abalón (Lin et al., 2008). Segundo, se redujo significativamente la tasa de rechazo de injertos del 80 % (2013) a 35 % (2022), así como la tasa de mortalidad post-operatoria del 8 % (2013) a < 1 % (2022). Finalmente, se incrementó la tasa de producción de perlas completamente recubiertas de nácar, de un promedio muy bajo de 0.4 % (2013) al 7 % (2022), con una expectativa de incremento al 10% para 2024. Aunque estos valores pueden variar considerablemente con respecto a los que se reportan para las ostras perleras, en general indican que entre el 20% y el 30% de las ostras morirán o rechazarán el injerto en un plazo de 30 días; igualmente, se obtendrán perlas comercializables de al menos el 45% de las ostras que conservaron el injerto un mes después de la siembra (Haws, 2002).

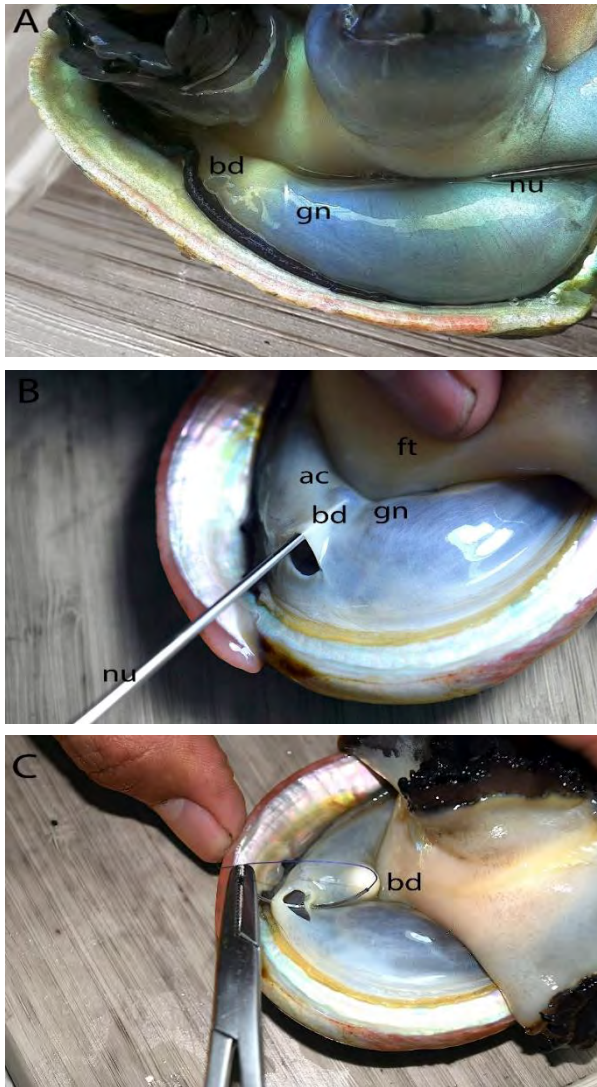


Figura 3. Abalón (*Haliotis rufescens*) anestesiado mostrando detalles de la cirugía de injerto utilizada en Chile para cultivar perlas. (A) Injerto de un núcleo (bd) en la parte más distal de la gónada (gn) utilizando un nucleador (nu); (B) Injerto de un bd en la cavidad abdominal (ac) entre la base de la gn y el pie central (ft) utilizando un nu; y (C) cierre de la herida con sutura quirúrgica para ayudar a reducir las tasas de rechazo del injerto. Fotos: Pedro E. Saucedo.

En términos de calidad, las perlas de *H. rufescens* producidas en Chile poseen un patrón combinado de brillo intenso y colores metálicos con tonos azul turquesa dominantes y sobre-tonos violetas, verdes, dorados y rosados (Homkrajae et al., 2023) (Fig. 4). Estas perlas también adoptan formas muy conspicuas que incluyen mayormente barrocas y, en menor medida, colmillos, dientes y bolas de fuego con colas o cuernos; las formas redondas o casi redondas son raras para el caso del abalón (Fig. 4). Esto no ocurre mucho en las ostras perleras que producen mayores proporciones de perlas cultivadas de formas esféricas (Southgate, 2021; Zhu et al., 2019).

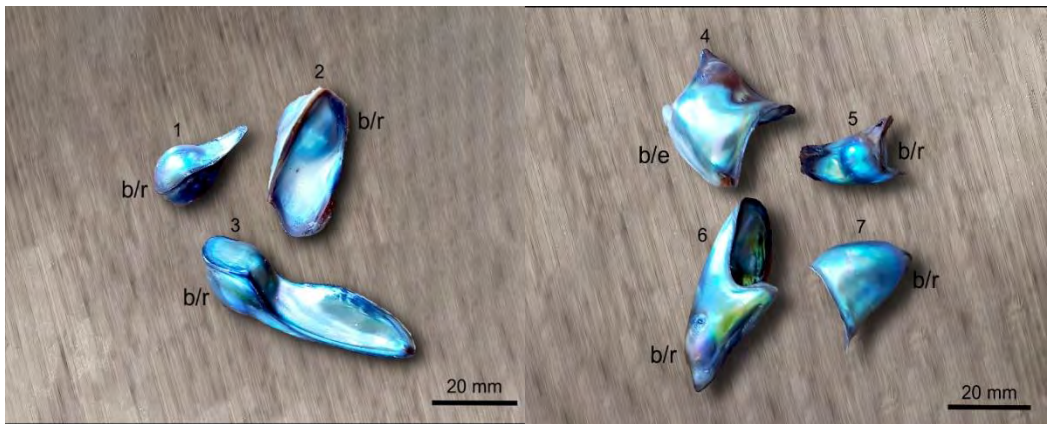


Fig. 4. Perlas barrocas comerciales producidas en Chile en el abalón rojo (*Haliotis rufescens*). Las fotos muestran núcleos retenidos (b/r) en seis de las perlas debido al uso de sutura quirúrgica (#1-3, 5-7) y sólo una perla expulsada (b/e) en la perla (#4) para formar un keshi. Las fotos también revelan perlas de formas muy variadas que incluyen mayormente bolas de fuego (#1-3) y barrocas (#4-6) y, en menor medida, un diente (#7) y una casi redonda (también #1). Fotos: Rubén Araya.

Con la mejora gradual de la técnica de injerto y de las curvas de aprendizaje de cada técnico injertador, el cultivo de perlas de *H. rufescens* se escaló de la etapa experimental a la etapa de producción comercial a partir de 2021. Para ello, las instalaciones de la *Unidad de Cultivo de Abalón de la UA* incrementaron su stock de abalones a más de 8000 ejemplares en 2023, de los cuales el 80% están injertados y programados para la cosecha sistemática de perlas hasta el 2025. Adicionalmente, la técnica de injerto para producción de perlas cultivadas fue

patentada en 2016 en Chile y otros países de Asia y el Indopacífico, como Australia y Hong Kong (Araya *et al.*, 2016). Esto dio pie a la creación, en 2021, de un 'Spin-off' de la UA denominado 'Abalone Pearl Technology', y con ello de la compañía comercial 'Atacama Pearls' ([www.atacamapearls.com](http://www.atacamapearls.com)) en 2022. Esta última busca maximizar el valor de estas perlas únicas de abalón a través de la manufactura y venta de joyería fina en mercados internacionales, así como para estrategias de marketing y transferencia de la tecnología a los sectores productivos.

También a inicios de 2022, muestras de perlas barrocas de *H. rufescens* fueron donadas al museo del *Instituto Gemológico de América* (GIA por sus siglas en inglés) para su exhibición. Aquí mismo, muestras adicionales de perlas fueron utilizadas para análisis estructurales, espectroscópicos y químicos. Los resultados de estos análisis indicaron que las perlas cultivadas de abalón son lo más parecido que existe hoy en día a las perlas naturales de abalón, las cuales son muy raras y poseen un valor comercial muy alto (Homkrajae *et al.*, 2023). De ahí la importancia de su cultivo comercial en *Atacama Pearls*. Indudablemente, estas perlas representan las primeras de su tipo en el hemisferio occidental y su producción puede impactar positivamente a la industria mundial de cultivo de perlas y joyas. Además, el potencial de venta de estas perlas de abalón es alto, particularmente en la costa oeste de Estados Unidos (California), donde se proyecta que la demanda de estas gemas aumente en un 13% para el 2025, según Forbes 2018 (Danziger, 2018). Está será una de las labores más importantes de *Atacama Pearls*.

## CONCLUSIÓN

El cultivo integral de medallón de carne y perlas de *H. rufescens* representa una actividad acuícola con un considerable potencial de crecimiento y desarrollo tecnológico en América Latina. A la fecha, las evidencias indican que el cultivo de perlas no afecta en absoluto al cultivo de la carne. A pesar de ello, es necesario identificar los principales cuellos de botella que impiden que la industria de cultivo de perlas de abalón alcance su potencial máximo en la región. Uno de los principales retos para el futuro cercano es la mejora de pasos muy específicos de la cirugía de injerto, como el estudio de formación completa del saco perlero, pues de ello depende la formación de la perla. Para ello, se recomienda utilizar

herramientas histológicas, histoquímicas ultraestructurales y moleculares para caracterizar la anatomía funcional del manto y describir los cambios celulares que se producen durante el desarrollo del saco perlero. Una parte de estos estudios se encuentran publicados ya (Saez-Saavedra et al., 2024b). Identificar los genes que codifican para la síntesis y color del nácar durante este proceso también puede ayudar a producir perlas en tonos más atractivos para la industria perlera. El escalamiento de la producción de perlas de abalón también forma parte de las actividades del proyecto *Atacama Pearls*, de la UA en Chile.

## Agradecimientos

Los datos de cultivo y producción de perlas presentados en este trabajo se originaron de proyectos financiados en Chile por la Agencia Nacional de Investigación (ANID, MEC #80110045), Corporación de Fomento Productivo (CORFO #12IDL2-16176 y #15VEIID-45595) y Fondo de Innovación a la Competitividad del Gobierno Regional de Antofagasta (FIC BID #30488446-0). Agradecemos al personal involucrado en la puesta en marcha y desarrollo de la *Unidad de Cultivo de Abalón* de la Universidad de Antofagasta: Alejandro Rojas-Figueroa, Sebastián Gallardo, Felipe Chávez, Roberto Pizarro, Fabián Castillo, Andrea Moreno y Jimmy Villanueva. Algunos empresarios que también participaron en este proceso son Alex Abumohor y Alex Poblete (Cultivos Live Sea Food y Chilesan), Joaquín Prieto y Rafael Crisostomo (Aquaocéana S.A.) y el personal de la Oficina de Transferencia y Licenciamiento (OTL) de la Universidad de Antofagasta. Se reconoce también a Diego A. Saucedo por la edición de las imágenes de injerto y de perlas cosechadas de *H. rufescens*.

## REFERENCIAS

- Araya R., Saucedo P.E., Rojas-Figueroa A., Maturana J. (2016). Method for producing free pearls in abalone. Patente, World Intellectual Property Organization (WIPO), Intellectual Property WO 2016/183695 A1.
- Cook P.A. (2016). Recent trends in worldwide abalone production. *Journal of Shellfish Research*, 35: 581–583. <https://doi.org/10.2983/035.035.0302>.

- Danziger P.N. (2018). Why pearls are the perfect luxury gem for millennials. Forbes (Dec. 2018). <https://www.forbes.com/sites/pamdzaniger/2018/12/05/why-pearls-are-the-perfect-luxury-gem-for-millennials/?sh=273f72b720cb>
- FAO. (2022). The estate of world fisheries and aquaculture: Towards blue transformation. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Flores-Aguilar R., Gutierrez A., Ellwanger A., Searcy-Bernal R. (2007). Development and current status of abalone aquaculture in Chile. *Journal of Shellfish Research*, 26: 705–711. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[705:DACSOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[705:DACSOA]2.0.CO;2)
- Haws M. (2002). *The basic methods of pearl farming: a Layman's manual*. Hilo, HI: Center for Tropical and Subtropical Aquaculture, Hawaii, pp. 5–13.
- Homkrajae A., Steen A., Hardman M., Sun Z., Araya R., Maturana-Zúñiga J. (2023). Bead culture abalone pearls from Chile. *Gems & Gemology* (Spring), 59: 140–142.
- Johnston W.L., Gordon S.E., Wingfield M., Hine D., Southgate P.C. (2020). Economic feasibility of small-scale mabé pearl production in Tonga using the winged pearl oyster, *Pteria penguin*. *Aquaculture Reports*, 17: 100347. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100347>.
- Monteforte M., Bervera H. (2010). Abalone pearl culture on the West Coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *World Aquaculture Society*, 41: 12–17.
- Morales-Bojórquez E., Muciño-Díaz M.O., Vélez-Barajas J.A. (2008). Analysis of the decline of the abalone fishery (*Haliotis fulgens* and *H. corrugata*) along the Westcentral coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 27: 865–870.
- Nguyen T.V., Alfaro A.C., Mundy C., Petersen J., Ragg N.L.C. (2022). Omics research on abalone (*Haliotis spp.*): Current state and perspectives. *Aquaculture*, 547: 737438. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737438>

- Rojas-Figueroa A., Araya R., Acosta Salmón H., Chávez Contreras F., Ortiz Cornejo N.L., Saucedo P.E. (2019). Factors influencing half-pearl (mabé) production and quality in the red abalone *Haliotis rufescens*. *Aquaculture Research*, 50: 3392–3400. doi.org/10.1111/are.14297.
- Rojas-Figueroa A., Angulo C., Araya R., Granados-Amores A., Guardiola F., Saucedo P.E. (2023). Comparative analysis of anesthetic agents used in pre-operative therapy for pearl culture in the red abalone *Haliotis rufescens* (Swainson, 1822). *Aquaculture*, 574: 739623. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739623>.
- Saidi I., Johnston B., Southgate P.C. (2017). Potential profitability of pearl culture in coastal communities in Tanzania. *Aquaculture Reports*, 5: 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.11.003>
- Sáez-Saavedra C., Saucedo P.E., Tanguy A., Araya R. (2024a). Progress towards development of a unique pearl culture technology for red abalone *Haliotis rufescens* in Chile. *Aquac. Rep.* 34: 101917. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101917>.
- Sáez-Saavedra C., Saucedo P.E., Granados-Amores A., Rojas-Figueroa A., Tanguy A., Araya R. (2024b). Structure and composition of mantle tissue from red abalone *Haliotis rufescens*, with implications for pearl farming. *J. Shellfish Res.* 43: 69–75. <https://doi.org/10.2983/035.043.0107>.
- Saucedo P.E., Araya R., Rojas-Figueroa A. (2015). Informe final de resultados del proyecto INNOVA-CORFO 'Investigación y optimización de la tecnología para la producción de perlas en abalón rojo *Haliotis rufescens*'. Universidad de Antofagasta, Chile.
- Saucedo P.E., McLaurin D., Lodeiros C., Freitas L., León L., Cáceres-Puig J.I., Southgate P.C., Albuquerque M.C.D., Actosa-Salmon H. (2023). Progress towards reestablishing Latin America as a major pearl producing region. *Reviews in Aquaculture*, 15: 242–260. <https://doi.org/10.1111/raq.12714>.
- Sernapesca. (2020). Estadísticas de Acuicultura. [www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl).



- Shor R., 2007. From single source to global free market: the transformation of the cultured pearl industry. *Gems & Gemology*, 43: 200–226.
- Southgate P.C. (2021). *Pearl oyster culture and pearl culture*. In: Shumway S.E. (ed.) *Molluscan Shellfish Aquaculture: A Practical Guide*. 5pm publishing, Essex, Inglaterra, p.p. 205–231. <https://doi.org/10.52517/9781789181463>
- Taylor J., Strack E. (2008). *Pearl Production*. In: Southgate P.C., Lucas J.S. (eds.), *The Pearl Oyster: Biology and Culture*. Elsevier Science, The Netherlands, pp. 273–302.
- Zhu C., Southgate P., Li T. (2019). *Production of pearls*. In: Smaal A.C., Ferreira J.G., Grant J., Petersen J.K., Strand Ø. (eds). *Goods and Services of Marine Bivalves*. Springer Open, 3–94. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-96776-9>



# Cultivo de peces


# Inclusión en formulaciones dietarias para tilapia del Nilo de harinas vegetales ricas en **ácido $\alpha$ -linolénico** y su efecto en el filete

## Inclusion of $\alpha$ -linolenic acid-rich vegetable flours in dietary formulations for Nile tilapia and their effect on fillet

Waldamann Paula<sup>1</sup>, Prario María<sup>1</sup>,  
Haran Nora<sup>2</sup>, Pereira Nair <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Mar del Plata, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras,  
Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET,  
Mar del Plata. Argentina.

Pereira Nair  [nairpereira@mdp.edu.ar](mailto:nairpereira@mdp.edu.ar)

Palabras clave |  
acuicultura,  
alimento funcional,  
omega 3,  
tilapia,  
chía,  
lino

**RESUMEN** | Con el objetivo de evaluar si la inclusión de harinas vegetales ricas en ácido  $\alpha$ -linolénico ejercen efecto en el perfil de ácidos grasos omega 3 (n-3) en el filete de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), se formularon y elaboraron tres dietas con: harina de pescado (LACUI), semilla de chía (SC) y semilla de lino (SL). Adicionalmente, se incorporó una cuarta dieta comercial (Ganave). Se determinó la composición proximal de las cuatro dietas. El bioensayo fue realizado en el Laboratorio de Acuicultura (LACUI) de la UTN FRMDP, en un sistema de recirculación de agua (RAS). En los filetes se determinó el perfil de AG. Con relación a las tres dietas elaboradas, los análisis proximales demostraron que la concentración de proteínas y de lípidos cumplen con los requerimientos nutricionales de la especie. En el perfil de ácidos grasos de los filetes, las mejores relaciones n-6/n-3 se obtuvieron en las tilapias alimentadas con CH y LN. Conforme al objetivo de este trabajo de obtener un alimento funcional, todos los filetes producidos con las cuatro formulaciones evaluadas pueden ser considerados alimentos funcionales. Sin embargo, las concentraciones más altas

de n-3 se obtuvieron con los tratamientos de CH y LN cumpliendo con la recomendación de mantener los niveles n-6/n-3 dentro de la relación 1/1.

**Keywords |**  
Aquaculture,  
functional food,  
omega-3,  
tilapia,  
chia,  
flaxseed.

**ABSTRACT |** In order to assess whether the inclusion of **vegetable flours rich in  $\alpha$ -linolenic acid** has an effect on the omega-3 fatty acid (n-3) profile in the fillet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), three diets were formulated and prepared using fish flour (LACUI), chia seed (CS), and flaxseed (FS). Additionally, a fourth commercial diet (Ganave) was incorporated. The proximal composition of the four diets was determined. The bioassay was conducted at the Aquaculture Laboratory (LACUI) of UTN FRMDP, in a recirculating water system (RAS). The fatty acid profile was determined in the fillets. Regarding the three formulated diets, proximal analyses demonstrated that the protein and lipid concentrations met the nutritional requirements of the species. In the fatty acid profile of the fillets, the best n-6/n-3 ratios were obtained in tilapia fed with CS and FS. In line with the objective of this study to obtain a functional food, all fillets produced with the four evaluated formulations can be considered functional foods. However, the highest n-3 concentrations were obtained with CS and FS treatments, meeting the recommendation to keep n-6/n-3 levels within the 1/1 ratio.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha dado importancia a los llamados alimentos funcionales mediante la inclusión de ingredientes promotores para la salud humana, los cuales además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, proporcionan beneficios fisiológicos y reducen el riesgo de sufrir enfermedades (Royo-Bordonada, 2017). Actualmente, estos productos están irrumpiendo con fuerza en los mercados internacionales, dado el interés de los consumidores por la estrecha relación entre la alimentación y la salud (Cadaval et al, 2005). Dentro de estos alimentos, se encuentran los que incluyen macronutrientes con efectos fisiológicos concretos, como son los ácidos grasos poliinsaturados, en especial los de cadena larga pertenecientes a la serie omega 3 (n-3) y omega 6 (n-6) los cuales se los denomina esenciales (AGE) ya que no pueden ser sintetizados por el ser humano (Punia et al, 2019). Además, previenen enfermedades

cardiovasculares, diversos tipos de cáncer, enfermedades inflamatorias, pulmonares y de la piel; son imprescindibles durante el embarazo y la lactancia, para un correcto desarrollo de la función nerviosa y funciones orgánicas en general (Villacorta et al, 2020). Los peces marinos poseen alto contenido de ácidos grasos del tipo n-3 a diferencia de los peces dulceacuicolas (Paz Raymundo 2014). En el caso de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), segunda especie más producida a nivel mundial por su facilidad en el cultivo y calidad proteica del filete, carece de una buena cantidad de AGE. Sin embargo, debido a que es una especie omnívora tiene la capacidad de digerir harinas de origen vegetal, por lo cual resulta interesante incluir en su formulación dietaria harinas vegetales que contengan un alto contenido de n-3 y evaluar el impacto de estas dietas en el perfil de ácidos grasos de los filetes producidos.

Por otra parte, la semilla de chía, con su alto contenido de ácidos grasos  $\Omega$ -3 y antioxidantes, se presenta como una opción ventajosa en las formulaciones para peces de cultivo, ofreciendo beneficios adicionales a la salud y previniendo la oxidación de los ácidos grasos (Saavedra Lozano 2018). En comparación, las semillas de lino, una alternativa más económica, también son consideradas por su contenido en ácidos grasos  $\Omega$ -3 y  $\Omega$ -6, aunque con mayores compuestos antinutrientes (Ayerza y Coates 2005). Las características de estas harinas en cuanto al contenido de ácidos grasos  $\Omega$ -3, las hace candidatas para ser incluidas como ingrediente en una formulación dietaria para tilapia y evaluar si las mismas tienen algún efecto en cuanto a la mejora del perfil de ácidos grasos de los filetes producidos.

En base en lo expuesto, el propósito de este estudio fue mejorar el perfil de ácidos grasos  $\Omega$ -3/ $\Omega$ -6 en la carne de tilapia, transformándola en un alimento funcional capaz de competir con la carne de peces marinos y proporcionar ácidos grasos esenciales beneficiosos para la salud humana. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo la alimentación de tilapias mediante formulaciones diseñadas conforme a los requerimientos nutricionales establecidos para juveniles de tilapia del Nilo, según las directrices de la FAO de 2018. En estas formulaciones, se sustituyó por completo la harina de pescado en aquellas que incorporaban harina de chía y lino. Este proceso permitió evaluar el impacto de la inclusión de estas harinas en comparación con un tratamiento control basado en harina de pescado y una dieta comercial estándar para tilapia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Formulación y elaboración de las dietas

Mediante la aplicación "Solver" de Excel 2010 se diseñó un modelo para la formulación de las dietas y a partir del mismo se formularon tres piensos, Chía (CH), Lino (LN) y LACUI, que satisfacen los requerimientos de juveniles de *O. niloticus*, y que incluyen como ingredientes harina de chía, harina de lino y harina de pescado respectivamente (Tabla 1). Estos organismos requieren para un óptimo crecimiento la inclusión de proteínas entre un 30 y 35% (FAO 2018) y entre un 8 y 10% de lípidos (Bhujel; 2002). Asimismo, para la elaboración del modelo se estableció como restricción que los piensos deban contener 10% de almidón para garantizar la óptima aglutinación de los ingredientes y 1% de complejo vitamínico (ROVIMIX® SUPER ACQUA - DSM NUTRITACIONAL PRODUCTS S.A.- Argentina) para asegurar que la formulación cubra los requerimientos de vitaminas y minerales. Además, se llevó a cabo el análisis proximal de las harinas de pescado, chía y lino, y a partir de los resultados obtenidos se calculó la cantidad de proteína de pescado que era posible reemplazar con las harinas vegetales propuestas. Se realizó un análisis proximal (Norma IRAM 15010 Parte 1) de cada una de las dietas utilizadas.

### Cultivo de Tilapia nilótica

Se llevaron a cabo cuatro tratamientos por triplicado en tanques circulares de fibra de vidrio de 250 L de capacidad, con recirculación de agua. Se dispusieron 240 animales en 12 tanques, divididos en grupos de 20 por tanque desde su estado juvenil (100 g) hasta el tamaño de faena (300 g). Se monitorearon diariamente los parámetros físico-químicos del agua (temperatura, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto) con el Multisensor Horiba U-50, y semanalmente se tomaron los valores de amonio y nitritos. Se realizaron muestreos quincenales para regular la alimentación.

### Cosecha y procesado

Una vez alcanzado el tamaño de faena (300 g), se realizó la cosecha de la totalidad de los ejemplares. Previo a la misma, se suspendió la alimentación por 24

h. Los animales fueron cosechados mediante redes y trasladados a una bacha con agua fría y hielo para crioanestesiarse a los ejemplares previo a la eutanasia. Luego fueron sacrificados mediante el descabezado de los mismos y se procedió a la recolección de muestras de vísceras y filetes, las cuales fueron envasadas y congeladas, hasta su posterior uso. El trabajo experimental se realizó de acuerdo con los principios del Comité de Ética de la Facultad Regional Mar del Plata de la Universidad Tecnológica Nacional (CICUAL RD N°002/2023).

### Análisis del perfil de ácidos grasos de los filetes

Los perfiles de ácidos grasos para los filetes de diferentes tratamientos (CH, LN, Control y Comercial) se realizaron mediante cromatografía de gases de sus ésteres metílicos en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI, Mar del Plata, Argentina) de acuerdo con la técnica IRAM 5651 (1997).

### Análisis estadísticos de los resultados

Se aplicaron análisis estadísticos apropiados para la comparación de los datos obtenidos en los diferentes objetivos, utilizando el software NCSS 8.

## RESULTADOS

En la tabla 1, se ilustra el diseño resultante de las tres dietas isoproteicas e isolípicas para comparar su efecto entre sí y con una comercial. A continuación, se detallan las formulaciones evaluadas:

Tabla 1. Alimentos balanceados recomendados para *O. niloticus* formulado mediante Programación Lineal.

Ingrediente	Chía (kg)	Lino (kg)	LACUI (kg)
Harina de carne y hueso	30	34	8,5
Harina de pescado	-	-	23
Harina de soja	30	28	30
Harina de chía	20	-	-
Harina de lino	-	7,5	-
Harina de trigo	8	18,5	23
Aceite de pescado	1	1	-
Aceite vegetal	-	-	4,5
Almidón	10	10	10
Complejo vitamínico	1	1	1
Total	100	100	100

### Análisis proximal de las dietas

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para la composición proximal de las dietas para tilapia del Nilo utilizadas en el bioensayo. Se observan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en todas las determinaciones. La humedad fue mayor en LACUI y Ganave<sup>®</sup>, presentando diferencias con LN y CH, en las cuales fue menor. La concentración de cenizas fue diferente en todas las dietas, siendo mayor en Lino y menor en Ganave<sup>®</sup>. Con respecto al contenido de grasa, Ganave<sup>®</sup> presenta la menor concentración diferenciándose con el resto de los tratamientos. LN y LACUI no presentan diferencias entre ellas, mientras que CH tiene el mayor contenido presentando diferencias con LACUI. El contenido de proteína fue menor en CH y Ganave<sup>®</sup> sin presentar diferencias, mientras que LACUI y LN obtuvieron mayor concentración de proteína, pero presentando



diferencias entre ellas. Con respecto a los carbohidratos, la mayor cantidad la obtuvo Ganave<sup>®</sup>, presentando diferencias con el resto de los tratamientos. Por último, el valor energético fue mayor en LACUI y CH, sin presentar diferencias, mientras que los menores valores fueron para Ganave<sup>®</sup> y LN presentando diferencias entre ellos.

Tabla 2. Proximales de las formulaciones evaluadas

Determinación	Ganave <sup>®</sup>	Lino	LACUI	Chía	Unidades
Humedad	3,50 ± 0,05b	2,95 ± 0,12a	3,40 ± 0,30b	2,50 ± 0,00a	%
Cenizas	10,70 ± 0,10a	14,90 ± 0,40b	11,90 ± 0,05c	13,60 ± 0,30d	%
Grasa	3,50 ± 0,05a	8,60 ± 1,00bc	8,70 ± 0,05b	9,70 ± 0,35c	%
Proteína	35,40 ± 0,50a	36,40 ± 0,10b	37,80 ± 0,80c	34,90 ± 0,52a	%
Carbohidrato	46,90 ± 0,50a	37,15 ± 1,30b	38,20 ± 1,10b	39,30 ± 0,73b	%
Valor energético	360,70 ± 0,45a	371,60 ± 3,43b	382,30 ± 1,65c	384,10 ± 0,55c	kcal/100g

Los valores presentados representan la media ± desviación estándar. Letras minúsculas diferentes dentro de las filas indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos.

### Análisis de ácidos grasos en filetes de Tilapia bajo diferentes tratamientos

En la figura 1 se observa la relación entre las concentraciones de los ácidos grasos poliinsaturados y los ácidos grasos n-3 y n-6 en los filetes de cada tratamiento. Los resultados muestran que la mayor concentración de AGPI se encuentran en LACUI (0,65 g/100 g de filete ± 0,00) y la menor concentración en LN (0,30 gr/100 gr de filete ± 0,04), observándose diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) con CH (0,40 g/100 g de filete ± 0,03) y Ganave<sup>®</sup> (0,40 g/100 g de filete ± 0,02) los cuales son estadísticamente iguales entre sí. Con respecto a los ácidos grasos n-6 no se encontraron diferencias significativas entre LN (0,12 g/100 r de filete ± 0,06) y CH (0,15 g/100 g de filete ± 0,00) mientras que Ganave<sup>®</sup> (0,29 g/100 g de filete ± 0,00) y LACUI (0,43 g/100 g de filete ± 0,00) mostraron diferencias con el resto de los tratamientos. Por su parte, los valores máximos de ácidos grasos n-3 se registraron en los filetes de CH (0,25 g/100 g de filete ± 0,04), LACUI (0,22 g/100 g de filete ± 0,00) y LN (0,19 g/100 g de filete ± 0,04), y son significativamente

diferentes a Ganave<sup>®</sup>, tratamiento que registro el menor contenido de n-3 (0,11 gr/100 g de filete  $\pm$  0,01).

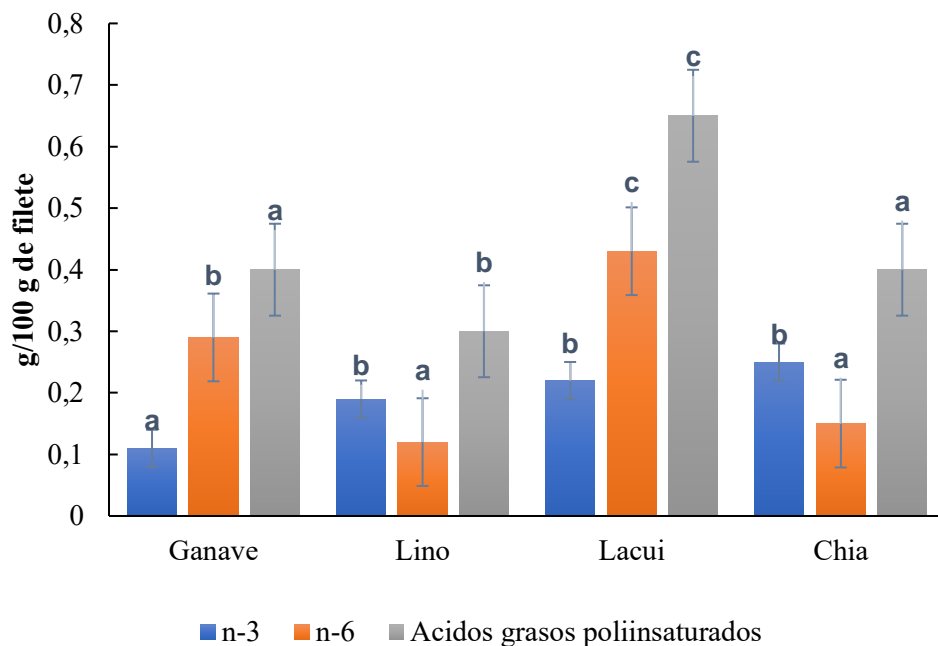


Figura 1. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y omega 6. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos.

#### Relación n-6: n-3 en los filetes de tilapia de cada tratamiento

La mayor proporción de n-3 con respecto a los n-6 se obtuvo en el tratamiento con CH (0,60:1) seguida por LN (0,63:1). Mientras que LACUI (1,95:1) y Ganave<sup>®</sup> (2,64:1) presentaron la menor proporción de n-3 con respecto a los n-6.

En la Tabla 3-10 se observa la relación n-6: n-3 en los filetes de tilapia de cada tratamiento. La mayor proporción de n-3 con respecto a los n-6 se obtuvo en el tratamiento con CH (0,60:1) seguida por LN (0,63:1). Mientras que LACUI (1,95:1) y Ganave<sup>®</sup> (2,64:1) presentaron la menor proporción de n-3 con respecto a los n-6.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.. Proporción de n-6/n-3 en cada tratamiento

	Ganave <sup>®</sup>	LACUI	Lino	Chía
n-6 (g/100 g de filete)	0,29	0,43	0,12	0,15
n-3 (g/100 g de filete)	0,11	0,22	0,19	0,25
n-6: n-3	2,64:1	1,95:1	0,63:1	0,60:1

## DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en dietas de animales puede mejorar la calidad del producto final con respecto al contenido de ácidos grasos n-3, en este trabajo se utilizaron semillas de chía y lino en formulaciones de tilapia. Se diseñaron tres dietas isoproteicas e isolipídicas fueron diseñadas: Chía (CH) y Lino (LN) libres de ingredientes marinos; y LACUI a base de harina de pescado. Estas formulaciones fueron comparadas entre sí y con una cuarta dieta de origen comercial (G).

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se verificó que si bien la cantidad de lípidos en LACUI, CH y LN fueron mayores que en Ganave<sup>®</sup>, la calidad de los mismos se vio reflejada en el perfil de AG y la relación n-6/n-3 de los filetes. En este sentido, los peces alimentados con Ganave<sup>®</sup> y LACUI, obtuvieron mayores cantidades de ácidos grasos n-6 en sus filetes, mientras que los peces que fueron alimentados con CH y LN, presentaron mayor cantidad de ácidos grasos n-3. Por otro lado, los peces alimentados con CH presentaron menores concentraciones de ácidos grasos saturados (AGS) y ácido palmítico con respecto a los peces alimentados con LACUI y Ganave<sup>®</sup>. Sin embargo, los peces alimentados con LN obtuvieron las mayores concentraciones de AGS y de ácido palmítico. Turchini et al. (2006) sugieren que la acumulación de AGS en bacalao de agua dulce alimentado con aceite de lino podría ser atribuida a una **reducción de la actividad de la enzima  $\Delta 9$ -desaturasa**; también que el aumento en la acumulación de AGS en los tejidos de los peces podría estar relacionado con un mecanismo de defensa contra un mayor riesgo de sufrir peroxidación de

los lípidos al incrementar la concentración de ALA en el tejido debido a que es un AG fácilmente oxidable.

Con respecto a la composición lipídica, y en especial los ácidos grasos n-3, Moreno-Poveda (2013) reportó una composición de 16,72% del total de ácidos grasos para los peces alimentados con semillas de chía y un 15,24% para los peces alimentados con semillas de lino. Por su parte, Tonial et al. (2009) observan que en los peces alimentados con aceite de lino, el total de ácidos grasos n-3 varía entre 7,4% a 10,3% del total de ácidos grasos. Además, Muñoz et al. (2021), a partir de dos formulaciones con harina y aceite de pescado, incluyeron harina de lino y chía entre un 5 y 15% y reportaron un intervalo de ácidos grasos n-3 para peces alimentados con harina de chía entre 9,45% a 13,65%, y para los peces alimentados con harina de lino entre 12,79% a 15,92%. En contraste, en este trabajo los peces alimentados con 20% de semillas de chía tuvieron una concentración de ácidos grasos n-3 del 26,47% del total de ácidos grasos, y los peces alimentados con 7,5% de semillas de lino presentaron una concentración del 16,81%, superando los intervalos presentados por los otros autores, aún sin utilizar harina o aceite de pescado como ingredientes en la formulación de las dietas experimentales. A su vez, Hernández (2017), determina el perfil de ácidos grasos de tres especies marinas (*Chelon labrosus*, *Sarpa salpa* y *Pegusa lascaris*), con distintos hábitos alimenticios, reflejando una concentración de ácidos grasos n-3 entre 22,99% a 41,20% del total de ácidos grasos. En el presente estudio, se obtuvo una notable mejora del perfil de ácidos grasos, llegando a los valores observados en especies marinas y en las relaciones entre los ácidos grasos n-6 y n-3.

En cuanto a la relación de los ácidos grasos n-6 y n-3 entre tratamientos, se observó que los peces alimentados con las dietas CH y LN presentaron menores valores (0,60 y 0,63, respectivamente) con relación a LACUI (1,95) y Ganave® (2,64). Sin embargo, el intervalo obtenido para esta relación en todas las dietas evaluadas (entre 2,64 y 0,60) se encuentra dentro de lo recomendado en una dieta humana saludable, cuyo valor se establece entre 1-4/1 (Simopoulos; 2002), dependiendo del tipo de enfermedad a prevenir o a considerar. Según Servan (2005), para promover una buena salud neuronal, la proporción óptima para consumo humano debe ser de 1 a 1 entre n-6/n-3.

Si bien todos los filetes obtenidos en este estudio pueden considerarse alimentos funcionales, los filetes de los peces alimentados con las dietas de chía y lino son los óptimos ya que cumplen con una mejor relación de n-6/n-3, incluso superando al tratamiento que incluye ingredientes marinos (LACUI).

## CONCLUSIÓN

En conclusión, en términos de composición lipídica, las formulaciones de CH y LN son las que produjeron filetes con las mejores concentraciones de n-3, superando incluso las de n-6.

Además, los filetes obtenidos de tilapias alimentadas con las raciones elaboradas con chía y lino permitieron obtener músculo con cantidades adecuadas de n-6 y n-3 para cumplir con los niveles recomendados para mantener una dieta humana saludable. Aunque todos los filetes pueden considerarse alimentos funcionales, los obtenidos a partir de las dietas de chía y lino se perfilan como óptimos, incluso superando al tratamiento con ingredientes marinos (LACUI) en términos de la relación n-6/n-3.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa- DSM NUTRITACIONAL PRODUCTS S.A.- Argentina por donarnos el complejo vitamínico ROVIMIX ® SUPER ACQUA utilizado en las formulaciones evaluadas.

## REFERENCIAS

- Ayerza, R., Coates, W. (2005). Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. *Nutrition Research*, 25(11), 995-1003.
- Bhujel, R. C. (2002). Manejo alimentario para tilapia. *Panorama acuícola*, 7(4), 6.
- Cadaval, A., Escauriza, B. A., Barrutia, U. G., Rodrigo, C. P., Aranceta, J., & Majem, L. S. (2005). Alimentos funcionales. Para una alimentación más saludable.

- FAO (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible. doi:10.18356/37c4c7b4-es
- Hernández García, R. (2017). Estudio del metabolismo de ácidos grasos en peces marinos. Comparación del perfil de ácidos grasos del músculo de tres especies de hábitos alimenticios diferentes. Tesis de pregrado. Universidad de La Laguna, España.
- IRAM, Norma N° 15010-1. Productos de la Industria Pesquera. Método de determinación de humedad por la técnica de la estufa de aire. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires, Argentina. 1985.
- IRAM, Norma N° 5651. Aceites y grasas vegetales y animales. Determinación de ácidos grasos por cromatografía en fase gaseosa de sus ésteres metílicos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires, Argentina. 1997.
- Moreno-Poveda, J. M. (2013). Cambios en el perfil de ácidos grasos de filete de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en respuesta a diferentes fuentes lipídicas. *Departamento de Ciencias para la Producción Animal*.
- Muñoz-Peñuela, M., García-Ulloa, M., Fonseca-Madrigal, J., Medina-Godoy, S., Espinosa-Alonso, L. G., Rodríguez-González, H. (2021). Influence of different concentrations of chia (*Salvia hispanica*) and flaxseed (*Linum usitatissimum*) meal on fillet fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(4), 671-677.
- Paz Raymundo, B. I. (2014). Efecto del DHA sobre la expresión de la  $\Delta 6$ -desaturasa durante el desarrollo larvario del pargo amarillo, *Lutjanus argentiventris*. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México. 105 pp.
- Punia, S., Sandhu, K. S., Siroha, A. K., & Dhull, S. B. (2019). Omega 3-metabolism, absorption, bioavailability and health benefits—A review. *PharmaNutrition*, 10, 100162.

- Roy-Bordonada, M. (2017). Nutrición en salud pública. Manual Docente de la Escuela Nacional de Sanidad. Madrid, 2017.
- Saavedra Lozano, K. V. (2018). Efecto de la harina de chíá, *Salvia hispanica* L. (Watson, 1938), en el crecimiento y en la composición corporal de alevinos de paco, *Piaractus brachypomus* (Serrasalmidae) criados en jaulas flotantes. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Perú. 74 pp.
- Servan-Schreiber, D. (2005). Curación emocional: acabar con el estrés, la ansiedad y la depresión sin fármacos ni psicoanálisis. Editorial Kairós.
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 56(8), 365-379.
- Tonial, I. B., Stevanato, F. B., Matsushita, M., De Souza, N. E., Furuya, W. M., Visentainer, J. V. (2009). Optimization of flaxseed oil feeding time length in adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a function of muscle omega-3 fatty acids composition. *Aquaculture Nutrition*, 15(6), 564-568.
- Turchini, G., Francis, D, De Silva, S. (2006). Fatty acid metabolism in the freshwater fish Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*) deduced by the whole-body fatty acid balance method. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 144(1), 110-118.
- Villacorta-Martín, A., Iglesias-Cid, I. (2020). Efectos de la suplementación en el embarazo con ácido docosahexaenoico. *Matronas prof*, e1-e9.

# Obtención y caracterización de hidrolizado proteico de anchoita *Engraulis anchoita* y su uso en acuicultura


## Obtaining and characterization of anchovy protein hydrolysate *Engraulis anchoita* for use in aquaculture

Nair Pereira <sup>1,2</sup>, Delfina Garbari <sup>3</sup>,  
Haran Nora<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras,  
Universidad Nacional de Mar del Plata – CONICET,  
Mar del Plata, Argentina

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mar del Plata,  
Argentina.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial,  
Mar del Plata, Argentina.

Haran Nora  [noraharan@yahoo.com.ar](mailto:noraharan@yahoo.com.ar)  
ORCID iD: 0009-0006-5407-3311

Palabras clave |  
hidrolizado,  
enzimas,  
proteínas,  
peces

RESUMEN | Para contribuir al aprovechamiento integral de los residuos de la industria pesquera se elaboró y caracterizó un hidrolizado proteico de desechos de anchoita *Engraulis anchoita* usando enzimas presentes en restos de merluza *Merluccius hubbsi*. La actividad de los extractos enzimáticos de merluza registró un valor de  $2,05 \pm 0,61$  U/mL. El grado de hidrólisis de los de los restos de anchoita debido a las enzimas de las vísceras de merluza varió desde valores de 15% a los 30-120 minutos hasta 60% a los 180 minutos. El análisis proximal de proteína en base seca fue de 83,40%. También se analizó la capacidad que tenía el hidrolizado proteico para barrer el radical libre DPPH, el mayor valor fue 83% a los 180 minutos. Este resultado se puede relacionar con la cantidad de ácidos grasos omega 3 y omega 6 del hidrolizado, que ayudarían a incrementar el efecto barredor de radicales libres. Posteriormente se utilizó este hidrolizado como fuente



proteica alternativa a la harina de pescado, de uso tradicional en acuicultura, en un bioensayo de alimentación con alevines de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*. Se elaboró una dieta base y otras dos en las que se reemplazó parte de la proteína de la harina de pescado por 5 y 15% de proteína del hidrolizado. Luego de 40 días los alevines no tuvieron diferencias significativas en peso y largo entre los distintos tratamientos con las tres dietas. Según los análisis *in vitro* realizados cada 10 días, la actividad enzimática alcalina de los peces tampoco estuvo influenciada por el agregado de las enzimas del hidrolizado en el alimento. Los datos de este trabajo permiten una valorización de las capturas y puesta en valor de los desechos del procesamiento de anchoita y merluza, además de poner a disposición de nuevas fuentes proteicas a la industria acuícola.

Keywords | hydrolysate, enzymes, proteins, fish.

**ABSTRACT** | In order to contribute to the use of fishery industry waste, a protein hydrolysate was prepared and characterized from anchovy *Engraulis anchoita* waste using enzymes present in hake *Merluccius hubbsi* remains. The activity of the enzymatic extracts of hake recorded a value of  $2.05 \pm 0.61$  U/mL. The degree of hydrolysis of the anchovy remains due to the enzymes of the hake viscera increased from 15% at 30-120 minutes to 60% at 180 minutes. The proximal analysis of protein on a dry basis was 83.40%. The ability of the protein hydrolysate to scavenge the DPPH free radical was also analyzed, the highest value was 83% at 180 minutes. This result can be related to the amount of omega 3 and omega 6 fatty acids found in the hydrolysate, which would help to increase the free radical scavenging effect. Subsequently, this hydrolysate was used as an alternative protein source to fishmeal, traditionally used in aquaculture, in a feeding bioassay with Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings. A base diet and two others were prepared in which part of the protein from the fishmeal was replaced by 5 and 15% of protein from the hydrolysate. After 40 days, the Nile tilapia fingerlings did not have significant differences in weight and length between the different treatments with the three diets. According to the *in vitro* analyzes carried out in the samplings every 10 days, the alkaline enzymatic activity of the fish was also not influenced by the addition of the enzymes of the hydrolysate in the feed. The data from this work allow the valorization of catches and the

valorization of anchovy and hake processing waste, in addition, the aquaculture industry will be able to have new protein sources.

## INTRODUCCIÓN

Argentina posee un extenso litoral marítimo sobre el Océano Atlántico Sur con importantes recursos pesqueros por lo que cuenta con una significativa estructura de extracción y procesamiento industrial. Mar del Plata es la ciudad pesquera más importante de Argentina donde se emplazan el mayor número de plantas de procesamiento pesquero. Allí, las especies marinas comerciales son clasificadas por tamaño y luego los peces son descabezados y eviscerados. Este proceso genera desechos, tales como cabezas y vísceras que pueden representar hasta el 45% del animal (Hleap Zapata y Gutiérrez Castañeda, 2017). Aunque una parte de estos desechos se utiliza para elaborar harina de pescado, otra cantidad significativa se descarta en vertederos municipales, afectando el medio ambiente y la salud de la población. La anchoita *Engraulis anchoita* es la especie pelágica más abundante y de mayor importancia comercial frente a la costa. Los desembarques de esta especie se centralizan en el puerto de Mar del Plata, donde es procesado el 90,9 % del total capturado. Además, en el puerto marplatense se desembarca el 75,9% de la merluza *Merluccius hubbsi*, especie demersal que representa aproximadamente el 70% del total de los peces capturados en 2019 (Carciofi et al. 2021).

Como una forma de abordar este problema, en este trabajo se han recuperado enzimas y proteínas de residuos de pescado, dando lugar a procesos y tecnologías para obtener subproductos valiosos, como son los hidrolizados proteicos. La hidrólisis enzimática de proteínas es una fuente de compuestos naturales con actividad antioxidante debida a los péptidos liberados (Chang et al., 2007). El estudio de estos péptidos antioxidantes presentes en alimentos ha sido un reto en los últimos años, habiéndose identificado buena actividad en numerosos hidrolizados de diferentes fuentes alimentarias (Bernardini et al., 2011). Aunque la actividad antioxidante se ha asociado a la presencia de varios aminoácidos, se sabe que la presencia de éstos no es suficiente para exhibir la actividad, sino que está relacionada también con la estructura primaria de los péptidos, de modo que su secuencia de aminoácidos puede afectar dichas

propiedades (Saiga *et al.*, 2003), así como la enzima empleada en la reacción de hidrólisis (Bernardini *et al.*, 2011). No obstante, hasta el momento el mecanismo exacto por el cual los péptidos antioxidantes ejercen su actividad y la relación estructura-actividad no está completamente esclarecido. Los péptidos bioactivos son fragmentos proteicos exógenos específicos que producen un impacto positivo de manera de causar un efecto benéfico sobre la salud independientemente del valor nutricional (Kitts y Weiler 2003). Los péptidos con actividad antioxidante son aquellos que en su secuencia contienen histidina y aminoácidos hidrofóbicos (Peña Ramos *et al.* 2004).

Los hidrolizados pueden ser utilizados en la industria acuícola como reemplazo parcial de la harina de pescado, el ingrediente más costoso dentro de una formulación. Es por ello que se planteó la utilización de subproductos de la industria pesquera regional con el fin de promover el aprovechamiento integral del recurso marino y disminuir los niveles de contaminación ambiental. Se usaron técnicas amigables con el medio ambiente, donde el producto final obtenido representa una fuente proteica de alta calidad que implica el aprovechamiento de gran parte de los subproductos pesqueros como fuente de proteína animal.

El objetivo de este trabajo fue obtener y caracterizar hidrolizados proteicos enzimáticos a partir de los residuos remanentes del procesamiento de anchoita *Engraulis anchoita* utilizando enzimas recuperadas de restos de merluza *Merluccius hubbsi*. Posteriormente se procedió mediante un bioensayo con tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* a evaluar el crecimiento y la supervivencia de estos peces, así como también la acción sobre las enzimas proteolíticas alcalinas endógenas del intestino de las tilapias cuando se substituyó, de manera parcial, la harina de pescado en la dieta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Extractos enzimáticos de merluza

Se utilizaron muestras de cabezas y vísceras de *Merluccius hubbsi* provistas por plantas fabriles de Mar del Plata. Las muestras fueron mantenidas a -20°C hasta ser analizadas. Los homogenatos se realizaron individualmente en agua destilada (1:3

w/v) y luego fueron centrifugados (Presvac EPF-12R, Argentina) durante 30 minutos a 4°C y 10.000 g. Los lípidos fueron removidos y los sobrenadantes fueron usados como extractos enzimáticos para los ensayos posteriores.

La actividad de las proteinasas alcalinas fue evaluada según el método de García-Carreño (1992). Se utilizó azocaseína (Sigma A2765) como sustrato al 0,5% (p/v), en solución buffer Tris-HCl, 50 mM, pH 7,5. Cada tubo de reacción fue preparado con 5 µL de extracto enzimático mezclados con 250 µL de sustrato y 250 µL de solución buffer, la mezcla se incubó durante 10 minutos a temperatura ambiente. La reacción fue detenida adicionando 250 µL de ácido tricloroacético (TCA) 20% (p/v). En los tubos control el TCA fue agregado luego del extracto enzimático y antes del sustrato proteico con el fin de inactivar la enzima y evitar su reacción. Luego los tubos fueron centrifugados por 5 minutos a 14.000 g. La absorbancia de los sobrenadantes fue medida a 360 nm en un espectrofotómetro Epoch-Bio Tek® para microplacas. La actividad enzimática fue calculada como:

$$\text{Actividad Total} = (\text{Abs } 366 \text{ nm}) / (\text{tiempo de incubación} \times \text{mL de homogenato})$$

#### Hidrolizado proteico de anchoíta

La materia prima, desechos de anchoíta *Engraulis anchoita*, fue molida y homogeneizada en agua destilada (1:1 p/v) e incubada a 100°C durante 10 minutos con el fin de inactivar las enzimas endógenas por calor. Posteriormente, tres fracciones por tratamiento fueron llevadas a un baño térmico a 45°C. Una vez que se alcanzó la temperatura de reacción, se le agregó el 1% (p/v) de extractos enzimáticos de merluza *M. hubbsi*.

Para evaluar el grado hidrólisis se utilizó la técnica de Baek y Cadwallader (1995). Para ello se tomaron alícuotas de 500 µL a distintos tiempos: 0, 15, 30, 60, 120 y 180 minutos (Fig. 3). Luego de separar cada alícuota se desactivaron sus enzimas a 100°C durante 10 minutos. Posteriormente, se incubaron con 1000 µL de TCA 0,3M a temperatura ambiente durante 20 minutos y se pasó la solución a través de un filtro de papel Whatman 40. Luego, se tomaron 25 µL y se mezclaron con 225 µL de agua destilada, 125 µL de NaOH 0,5 N y 0,25 mL del reactivo fenólico Folin-Ciocalteu (Sigma F9252) 1 N. La solución resultante se agitó e incubó a 30°C durante 30 minutos y se centrifugó a 2.000 g durante 10 minutos con el fin de

remover el material turbio. La absorbancia de los sobrenadantes se midió a 578 nm en espectrofotómetro Epoch-Bio Tek® para microplacas. El grado de hidrólisis (GH) se expresó de acuerdo a Benítez *et al.* (2008) según la siguiente ecuación:

$$GH = (Abs\ t - (Abs\ t_0) / (Abs\ max)) \times 100$$

Donde: Abs t= absorbancia a tiempo determinado

Abs t<sub>0</sub>= absorbancia a tiempo inicial

Abs max= absorbancia máxima

Para medir la actividad antioxidante de los péptidos generados durante la hidrólisis de las proteínas de los desechos de anchoita se utilizó el método Shimada *et al.*, (1992), el que se basa en el efecto "barredor" de los hidrolizados (efecto antioxidante), sobre el radical libre 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH). Para realizar la determinación del poder barredor de los hidrolizados proteicos se tomaron 1,5 mL de cada hidrolizado a tiempo final (180 minutos) y se mezclaron con 1,5 mL de solución DPPH en etanol al 95%. El blanco se realizó tomando 1,5 mL de agua destilada más 1,5 mL de DPPH. Se incubaron las muestras durante 30 minutos a temperatura ambiente, para luego ser leídas a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro Epoch-Bio Tek®. El poder antioxidante fue calculado según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ actividad antioxidante} = [(Abs \text{ muestra}) / (Abs \text{ blanco})] \times 100$$

En el análisis de los resultados obtenidos se consideró que a menor valor de absorbancia, mayor es el efecto antioxidante del hidrolizado ante la presencia del radical libre DPPH.

La caracterización química del hidrolizado consistió en el análisis proximal: humedad según AOAC Oficial Method 950.46 (1993), cenizas según AOAC Oficial Method 938.08 (1993), proteína según AOAC Oficial Method 950.25 (1993), lípidos totales según Folch *et al.*, (1957). El perfil de ácidos grasos fue evaluado por cromatografía gaseosa de sus ésteres metílicos según IRAM 5651 (1997). Además, se determinó la concentración de nitrógeno básico volátil total (NBV) para evaluar

la frescura del hidrolizado según el Reglamento (CE) n° 2074 (2005) de la Comisión de la Unión Europea.

### Elaboración de las dietas y bioensayo

Los alevines de tilapias del Nilo *Oreochromis niloticus* fueron provistos por la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). El bioensayo se realizó en la Universidad Nacional de Mar del Plata, donde tilapias con un peso promedio inicial de 1,5 gramos fueron dispuestas al azar en 12 acuarios (9 alevines por acuario) de manera tal que contuvieran similares valores de biomasa. El experimento tuvo una duración de 40 días en los cuales los peces fueron alimentados con tres diferentes dietas isoproteicas que cubrían los requerimientos de la especie: FPH0 (0% de proteínas del hidrolizado); y otras dos dietas en las que se reemplazó parte de la proteína de la harina de pescado por un 5 y un 15% de proteína del hidrolizado, FPH5 y FPH15, respectivamente. Los ingredientes fueron molidos y homogenizados en una mezcladora durante 10 minutos, los piensos fueron extruidos y secados en horno a 60°C durante 24 h. El hidrolizado proteico líquido de merluza se agregó mediante aspersión después del secado y enfriamiento de los pellets. Las dietas fueron almacenadas en frascos aislantes de luminosidad para evitar fotooxidación de lípidos hasta su uso en el experimento (tabla 1).

Tabla1. Fórmulas de las dietas experimentales

Ingredientes (%)	TRATAMIENTOS		
	FPH0	FPH5	FPH15
Harina de pescado	30,0	28,5	25,5
FPH	-	1,5	4,5
Harina de soja	20,0	20,0	20,0
Harina de maíz	7,0	7,0	7,0
Gluten de trigo	13,0	13,0	13,0
Almidón de maíz	10,0	10,0	10,0
Aceite de girasol	3,0	3,0	3,0
Salvado de trigo	16,0	16,0	16,0
Vitaminas y minerales <sup>1</sup>	1,0	1,0	1,0

<sup>1</sup>Complejo vitamínico-minerales ROVIMIX® SUPER ACQUA

Cada tratamiento se realizó por cuadruplicado. Los peces fueron alimentados en horarios fijos 3 veces por día y la cantidad de alimento suministrada se calculó en base a su biomasa (5% de la biomasa por día).

Cada diez días se realizaron mediciones corporales (peso, longitud cefálica y estándar) y se sacrificó un ejemplar al azar por acuario para extraer las vísceras y medir la actividad proteolítica alcalina según García-Carreño (1992) y de esta manera evaluar el posible efecto de las enzimas del hidrolizado sobre las mismas.

### Análisis estadísticos

El efecto barredor de DPPH y el grado de hidrólisis de los hidrolizados fueron analizados con ANOVA luego de verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando valor  $P < 0,05$ . Para hacer los contrastes se aplicó el test de comparaciones múltiples de Tukey-Kramer. Para la evaluación proximal del hidrolizado proteico se realizó el promedio y desviación estándar de las réplicas. Por otro lado, se calculó y se analizó el coeficiente de variación porcentual (desviación estándar relativa) respecto a un criterio interno del laboratorio,  $CV\% \leq 3$ . Para el análisis de los índices de crecimiento se realizó un test de ANOVA comparando cada especie con las enzimas comerciales. Los contrastes se hicieron utilizando el test de comparaciones múltiples de Tukey-Kramer. Todos los análisis se realizaron mediante el software estadístico NCSS.

## RESULTADOS

### Grado de hidrólisis

La actividad de los extractos enzimáticos de merluza *Merluccius hubbsi* que fueron usados para la elaboración del hidrolizado proteico registró un valor de  $2,05 \pm 0,61$  U/mL. El grado de hidrólisis (GI) de los desechos de anchoíta *Engraulis anchoita* a los que se les aplicaron los extractos enzimáticos de merluza fue del 15% hasta los 120 minutos y su valor fue incrementando luego de este tiempo. Hacia el final de la reacción, 180 minutos, alcanzó un punto máximo de aproximadamente 60% (Fig.1)

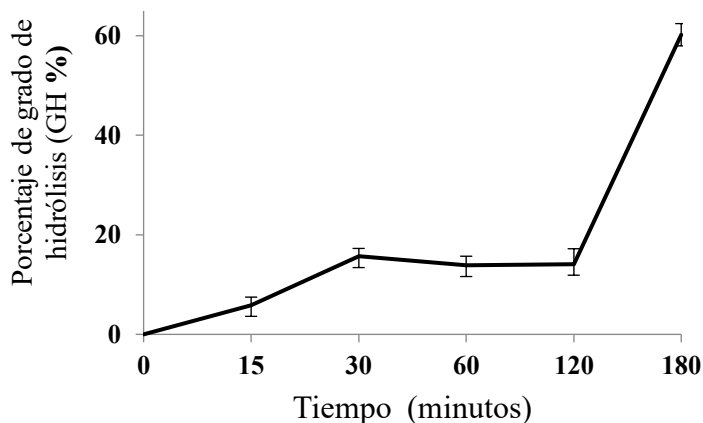


Figura 1. Progresión de la hidrólisis de proteína de anchoita *Engraulis anchoita* con el agregado de las enzimas de merluza *Merluccius hubbsi*. Las barras representan el error estándar obtenido en cada tiempo de medición por cada tratamiento que fueron realizados por triplicado ( $P < 0,05$ ).

#### Determinación del efecto antioxidante de los hidrolizados proteicos

El hidrolizado proteico resultó tener una eficiente capacidad barredora del radical libre DPPH (%EB), la que fue incrementando a lo largo del tiempo. Inicialmente se registró una capacidad barredora con valores cercanos al 30%EB. En el minuto 180 el hidrolizado proteico alcanzó el 83%EB (Fig.2).

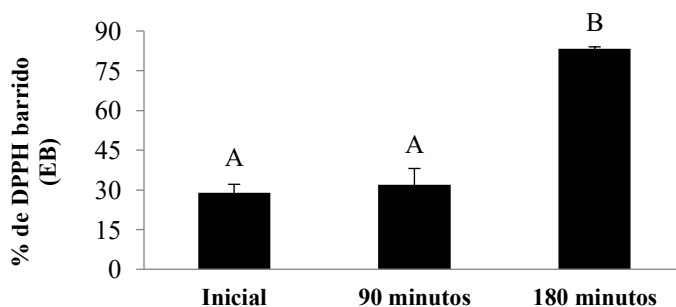




Figura 2. Variación en el tiempo de la capacidad barredora del hidrolizado proteico a medida que la enzima hidroliza el sustrato. Los valores se expresan como media  $\pm$  error estándar. Diferentes letras indican diferencias entre los tres tiempos evaluados ( $P < 0,05$ ).

### Análisis proximal del hidrolizado

Con respecto al análisis proximal expresado en porcentaje del hidrolizado proteico se registraron los siguientes datos: cenizas  $0,74 \pm 0,023$ ; humedad  $90,18 \pm 0,022$ ; proteína en base seca  $83,40 \pm 1,3$  y lípidos totales de  $1,80 \pm 0,01$ . Por otro lado, la evaluación de nitrógeno básico volátil arrojó un valor de  $22,22 \pm 1,01$ . En cuanto a la determinación de ácidos grasos se observó que los insaturados fueron mayoritarios con respecto a los saturados, y que la serie linoléica (n-3) prevaleció sobre la linoleica (n-6). El perfil de ácidos grasos se detalla a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición de ácidos grasos del hidrolizado proteico expresados en g/100g de peso. Los valores se expresan como media  $\pm$  desvío estándar.

Saturados	Monoenoicos	Polienoicos	Insaturados	$\Sigma n-3$	$\Sigma n-6$	$\Sigma trans$
$0,60 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,01$	$0,64 \pm 0,02$	$1,20 \pm 0,02$	$0,50 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$

### Bioensayo con tilapias

La supervivencia fue del 100% en todos los tratamientos. Con respecto al peso y largo total alcanzado por los peces alimentados con la dieta base FPH0 y las otras dos dietas en las que se reemplazaron distintos porcentajes de proteína de la harina de pescado por proteína del hidrolizado, los valores no presentaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos luego de 60 días de experimentación (Tabla 3).

Tabla 3. Pesos medios (P) y largos totales medios finales (Lt) del experimento de crecimiento con *Oreochromis niloticus*

Tratamientos	P (g)	Lt (cm)
FPH0	$2,55 \pm 1,09$	$5,31 \pm 0,86$
FPH5	$2,60 \pm 0,88$	$5,25 \pm 0,76$
FPH15	$2,61 \pm 0,61$	$5,41 \pm 0,48$

Los valores se expresan como la media y su desviación estándar.

En cuanto al efecto de las distintas dietas sobre la actividad de las enzimas proteolíticas alcalinas de tilapia medidas *in vitro*, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos y además tampoco hubo variación a lo largo del tiempo del bioensayo (Tabla 4).

Tabla 4. Actividad proteolítica alcalina del intestino de las tilapia a lo largo del bioensayo con los alimentos que contenían diferentes cantidades de proteínas del hidrolizado.

Tiempo	FPHO %	FPH5 %	FPH15 %
cero	2,95 ± 0,46	2,95 ± 0,46	2,95 ± 0,46
10 días	2,95 ± 1,25	2,98 ± 1,71	3,28 ± 1,61
20 días	3,26 ± 1,41	3,16 ± 1,46	2,91 ± 1,42
30 días	2,57 ± 0,74	2,44 ± 1,00	2,45 ± 0,92
40 días	3,09 ± 0,51	2,98 ± 0,47	2,92 ± 0,52

## DISCUSIÓN

En este trabajo se pudo demostrar que es factible revalorizar residuos de la industria pesquera, en este caso de anchoíta y merluza, para la obtención de proteínas y enzimas y así elaborar un hidrolizado proteico de calidad. El hidrolizado proteico de pescado posee dipéptidos y tripéptidos de alta digestibilidad que al ser suministrados en las dietas son absorbidos por los enterocitos con mayor eficiencia que los aminoácidos libres, ya que son menos hipertónicos y presentan transporte facilitado a través de la pared intestinal del pez (Conceição *et al.*, 2012), en cambio los aminoácidos pueden perderse por su alta solubilidad y además algunos comparten los transportadores hacia adentro de los enterocitos, esa competencia puede generar deficiencia de alguno de ellos.

La absorción de los aminoácidos se realiza mediante un transporte activo a través de la pared intestinal, lo que quiere decir que la absorción utiliza energía. Los tripéptidos se absorben de forma más rápida que los dipéptidos, que a su vez se absorben más deprisa que los aminoácidos libres. Además, se ha descubierto que existe competencia para la absorción entre los aminoácidos de la misma clase: ácidos, básicos y neutros (Sanz, 2001).

El hidrolizado resultó ser un ingrediente con poder antioxidante, se observó correlación entre el grado de hidrólisis y el poder barredor del radical libre DPPH del hidrolizado proteico; a medida que transcurría la liberación de los péptidos durante el proceso de hidrólisis se incrementó el efecto neutralizante. La correlación entre estos dos parámetros puede ser atribuida a la composición peptídica y a los aminoácidos liberados en el proceso de hidrólisis (Wu et al. 2003). Es importante destacar que el efecto antioxidante demostrado en el hidrolizado puede estar también relacionado con la cantidad de ácidos grasos n-3 detectados. Con respecto a los valores proximales, este hidrolizado provee un 83% de proteína en base seca y el nitrógeno básico volátil que mide la presencia de amoníaco y compuestos nitrogenados como dimetil y trimetil amina fue de 22mg cada 100 gramos de muestra, este valor se encuentra por debajo del límite establecido por el Código Alimentario Argentino que considera no apto para la alimentación a productos de la pesca o captura y derivados que contengan más de 30mg de NBV cada 100 g, Por sus características el hidrolizado resultó apto para ser utilizado como ingrediente en las formulaciones de tilapia del Nilo. Con respecto a las proteasas alcalinas digestivas de las tilapias, tampoco se vieron afectadas en su funcionamiento por el agregado del hidrolizado en las dietas, lo que se corroboró al medir su actividad y que ésta se mantuvo sin variación tanto entre peces alimentados con las distintas dietas como también durante todo el tiempo de la experimentación. La adición de 15% y 25% hidrolizado de pescado en la dieta redujo la digestibilidad de las proteínas debido a desórdenes intestinales en ejemplares juveniles de *Scophthalmus maximus* (Oliva-Teles et al., 1999).

La inclusión de hidrolizado de proteína de pescado no influye en la palatabilidad del alimento proporcionada por los aminoácidos libres, que pueden actuar como atractantes (Chotikachinda et al. 2013). La sustitución de hasta un 15 % de harina de pescado por hidrolizado proteico de anchoita y merluza no presentó efectos negativos en cuanto al peso y al largo total alcanzado con respecto al control, tampoco afectó la supervivencia. Ribeiro et al. (2017) concluyeron que valores de hasta 20% de inclusión de hidrolizado de restos de tilapia en la dieta de *Arapaima gigas* juveniles pueden ser utilizados de manera segura. Amaringo et al. (2022) analizaron el efecto de la inclusión en la dieta de hidrolizado proteico de pescado sobre el crecimiento corporal y composición proximal del músculo del bagre de amazonia *Pseudoplatystoma punctifer* y

observaron que los juveniles alimentados con dieta suplementada con 1,2% de hidrolizado proteico de pescado presentaron mayor peso final, ganancia de peso y tasa de crecimiento específico a los 60 días, así como mejor conversión alimenticia en comparación con una dieta sin suplementación, además la inclusión del hidrolizado en la dieta no afectó la sobrevivencia, el factor de condición, así como tampoco la composición proximal del músculo.

Este estudio proporciona pruebas de que es posible reemplazar la harina de pescado con subproductos de la pesca sin afectar el crecimiento de los organismos acuáticos cultivados, aprovechando valiosas fuentes de proteínas subutilizadas con un impacto positivo en el medio ambiente y en los productores acuícolas. Futuras líneas de investigación podrían incluir el análisis de microvellosidades en estudios histológicos o la evaluación de la fisiología digestiva de los organismos experimentales, ya que se han informado diversos beneficios asociados con el uso de hidrolizados en la dieta de organismos acuáticos, como la reducción de niveles de estrés, mejoras en el metabolismo hepático y una mayor resistencia a patógenos, entre otros.

## Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Tecnología Industrial sede Mar del Plata por los análisis químicos realizados.

A la Universidad Tecnológica Nacional Mar del Plata por las tilapias para el bioensayo.

El protocolo del bioensayo fue aprobado por RD 77/2022. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina.

## REFERENCIAS

Amaringo Cortegano C., Núñez Montúfar R., Wong Bardales D., Prada Rojas D., Villanueva Chávez C., Contreras Salazar G., Bezada Quintana S., Carcelén Cáceres F., López Guerra S. (2022). Efecto de la inclusión en la dieta de hidrolizado proteico de pescado sobre el crecimiento corporal y composición

proximal del músculo de doncella (*Pseudoplatystoma punctifer*). Rev Inv Vet Perú, 33(5): e22232 <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i5.22232>

OAC (1993). Official Methods of Analysis. 14th Edition, Association of Official Analytical Chemist, USA. 771pp.

Baek H., Cadwallader K. (1995). Enzymatic Hydrolysis of Crayfish. Processing By-products, 60:929–935.

Bernardini R., Harnedy-Rothwell P., Bolton D., Kerry J., O'Neill E., Mullen A., Hayes M. (2011). Antioxidant and antimicrobial peptidic hydrolysates from muscle protein sources and byproducts: Review, Food Chem, 124:1296-1307.

Carciofi I., Merino F., Rossi. L. (2021). El sector pesquero argentino: un análisis de su potencial exportador. Documentos de Trabajo del CCE N° 2, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. 36pp. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/dt\\_2\\_el\\_sector\\_pesquero\\_argentino.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/dt_2_el_sector_pesquero_argentino.pdf)

Chang C., Wu K., Chiang S. (2007). Antioxidant properties and protein compositions of porcine haemoglobin hydrolysates. Food Chemistry, 100(4):1537-1543.

Chotikachinda R., Tantikitti C., Benjakul S., Rustad T., Kumarnsit E. (2013). Production of protein hydrolysates from skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* as feeding attractants for Asian seabass, *Lates calcarifer*. Aquaculture Nutrition, 19(5):773-784.

Conceição L., Aragão C., Dias J., Costas B., Terova G., Martins C., Tort L. (2012). Dietary nitrogen and fish welfare. Fish Physiol Biochem, 38: 119-141. doi: 10.1007/s10695-011-9592-y

Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. J Biol Chem, 226:497–509. doi: 10.1371/journal.pone.0020510

- García-Carreño F. (1992). Protease inhibition in theory and practice. *Biotechnol Educ*, 3:145–150.
- Hleap Zapata J., Gutiérrez Castañeda, C. (2017). Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. -Una revisión. *Acta Agronómica*, 66 (3):311-322.
- IRAM 5651:97-12-09 (1997). Aceites y grasas vegetales y animales. Determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa de sus ésteres metílicos.
- Kitts D., Weiler K. (2003). Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery. *Current Pharmaceutical Design*, 9:1309-1323.
- Oliva-Teles A., Cerqueira A., Goncalves P. (1999). The utilization of diets containing high levels of fish protein hydrolysate by turbot juveniles *Scophthalmus maximus*. *Aquaculture*, 179(1-4):195-201.
- Peña Ramos E., Xiong, Y., Arteaga G. (2004). Fractionation and characterization for antioxidant activity of hydrolyzed whey protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84:1908-1918.
- Ribeiro M., Fonseca F., Queiroz M., Affonso E., Conceição L., Gonçalves. (2017). Fish protein hydrolysate as an ingredient in diets for *Arapaima gigas* juveniles. *Bol Inst Pesca*, 44:85-92. doi: 10.20950/1678-2305.-2017.85.92
- Saiga, A., Tanabe S., Nishimura T. (2003). Antioxidant activity of peptides obtained from porcine myofibrillar proteins by protease treatment, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:3661-3667
- Sanz, Fernando (2001). Nutrición en Acuicultura. In: Rebollar, C. de Blas, Mateos G. (eds). XVII Curso de Especialización FEDNA. Nutrición y Alimentación Animal. Madrid, España. pp 317-327.

Shimada K., Fujikawa K., Yahara K., Nakamura T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J Agric Food Chem*, 40:945–948. doi: 10.1021/jf00018a005

Unión Europea. Reglamento (CE) 274. <https://www.boe.es/doue/2005/338/L00027-00059.pdf>

Wu H., Chen H., Shiau C. (2003). Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*). *Food Res Int*, 36:949–957. doi: 10.1016/S0963-9969(03)00104-2



# Identificación molecular de Micobacterias no tuberculosas en Tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* cultivadas en la Amazonía Ecuatoriana

## Molecular identification of nontuberculous mycobacteria in Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in the Ecuadorian Amazon

Y. Rojas<sup>1,3</sup>, J. Guarango Veletanga<sup>1</sup>,  
A. Castro Cevallos<sup>1</sup>, Y. Ledesma<sup>2</sup>,  
J. H. de Waard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Regional Amazónica Ikiam,  
vía Muyuna, km. 7, CP150150, Tena, Ecuador

<sup>2</sup>Laboratorios de Investigación, Facultad de Ciencias de Salud,  
Universidad de Las Américas (UDLA), Quito 170125, Ecuador

Y. Rojas  [yeimy.rojas@ikiam.edu.ec](mailto:yeimy.rojas@ikiam.edu.ec)

Palabras clave |  
*Mycobacterium*,  
micobacteriosis,  
zoonosis,  
acuicultura,  
peces de granja.

**RESUMEN** | Las micobacterias no tuberculosas inducen infecciones graves en los peces, lo que afecta negativamente la producción en acuicultura y piscicultura. En este estudio se investigó la presencia de *Mycobacterium spp* en Tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*), una especie ampliamente cultivada y comercializada en Napo-Ecuador. Se recolectaron un total de 103 peces de ocho estanques diferentes ubicados dentro del cantón Tena. Ninguno de los individuos mostró signos clínicos de micobacteriosis; sin embargo, se obtuvieron 27 cultivos positivos de bacilos positivos a la tinción de Ziehl-Neelsen. La amplificación y secuenciación del gen ribosomal 16S, se identificaron ocho (8) micobacterias estrechamente relacionadas con *M. septicum*, cinco (5) relacionadas con *M. paragordoniae*/*M. gordonae*, tres (3) con *M. septicum*/*M. porcinum*, dos (2) relacionadas con *M. seoulense*, y solo un aislado de *M. llatzerense*, *M. immunogenum*, *M. insubricum* y *M. fortuitu*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes* y *M. vaccae*/*M. vanbaalenii*. Hubo micobacterias que no



se lograron discriminar durante la identificación molecular debido a su alta homología. Este estudio representa el primer informe de especies de *Mycobacterium* en granjas de Tilapia del Nilo en la Amazonía Ecuatoriana.

Keywords |

*Mycobacterium*,  
mycobacteriosis,  
zoonosis,  
aquaculture,  
farmed fish.

**ABSTRACT** | Nontuberculous mycobacteria induce serious infections in fish, which negatively affects production in aquaculture and fish farming. In this study, the presence of *Mycobacterium* spp was investigated in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), a species widely cultivated and commercialized in Napo-Ecuador. A total of 103 fish were collected from eight different ponds located within the Tena canton. None of the individuals showed clinical signs of mycobacteriosis; However, 27 positive cultures of bacilli positive for Ziehl-Neelsen staining were obtained. The amplification and sequencing of the 16S ribosomal gene identified eight (8) mycobacteria closely related to *M. septicum*, five (5) related to *M. paragordoniae/M. gordoniae*, three (3) to *M. septicum/M. porcinum*, two (2) related. with *M. seoulense*, and only one isolate of *M. llatzerense*, *M. immunogenum*, *M. insubricum* and *M. fortuitum*, *M. senegalense/M. farcinogenes* and *M. vaccae/M. vanbaalenii*. There were mycobacteria that they were not able to discriminate during molecular identification due to their high homology. This study represents the first report of *Mycobacterium* species in Nile Tilapia farms in the Ecuadorian Amazon.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad que genera importantes fuentes de alimento para millones de personas en el mundo (Liao y Chao, 2009). El aumento de la población y del consumo per cápita, impulsa al crecimiento de esta actividad, con una producción pesquera estimada de 202 millones de toneladas para el año 2030 (FAO, 2022). No obstante, la sustentabilidad del sector acuícola se ve afectada por enfermedades infecciosas causadas principalmente por bacterias,

virus, parásitos y hongos (Ananda Raja y Jithendran, 2015). En particular, las infecciones bacterianas son capaces de destruir cultivos enteros y generar pérdidas económicas significativas cuando no se aplican tratamientos curativos o preventivos (Miccoli et al., 2021; FAO, 2022). Dentro de este panorama, la micobacteriosis, una infección causada por micobacterias no tuberculosas (MNT), se presenta como un desafío relevante en la acuicultura debido a la falta actual de vacunas o antibioticoterapias apropiadas para el tratamiento y control de esta enfermedad (Delghandi et al., 2020).

La micobacteriosis afecta a más de 200 especies de peces y puede ser adquirida a través de la ingestión de alimentos contaminados, el canibalismo de peces enfermos, la inoculación a través de lesiones y el consumo de desechos ambientales (Decostere et al., 2004; Jacobs et al., 2009). Cuando la infección se activa se visualizan signos clínicos como pérdida de escamas, ulceración dérmica, cambios pigmentarios, comportamiento anormal, emaciación y ascitis (Gauthier y Rhodes, 2009). Internamente puede producir nódulos de color blanco que se desarrollan comúnmente en los riñones, corazón, hígado y bazo (Austin y Austin, 2016). Debido a la gravedad de estos síntomas la mortalidad puede alcanzar el 100% (Delghandi et al., 2020). No obstante, la micobacteriosis puede tardar varios años en manifestarse y pasar de un estado asintomático a la enfermedad clínica, en lo cual, las condiciones ambientales y el estrés son factores importantes en el desarrollo de la infección (Jacobs et al., 2009; Slany et al., 2014).

Las MNT se caracterizan por ser bacilos ubicuos ácido-alcohol resistentes y se clasifican en micobacterias de lento crecimiento (MLC) y micobacterias de rápido crecimiento (MRC) (Runyon, 1959). Las especies más reportadas en infecciones en peces son *Mycobacterium marinum*, *Mycobacterium fortuitum*, *Mycobacterium chelonae* y *Mycobacterium gordonae*, las cuales, también han demostrado ser potencialmente riesgosas en humanos debido a su naturaleza zoonótica (Novotny et al., 2004). Estas MNT generan problemas a la salud pública, particularmente en personas con inmunosupresión grave que mantienen contacto con el agua o animales acuáticos contaminados (Bhambri et al., 2009). Entre los síntomas que pueden llegar a producir en humanos encontramos lesiones cutáneas nodulares, principalmente en las manos, que pueden progresar a tenosinovitis, artritis y osteomielitis si no se aplica un diagnóstico y tratamiento adecuado (Valdés y Cid, 2004).

Los reportes de infecciones micobacterianas han incrementado en la producción controlada de especies como el esturión, lenguado, gobio barbero, salmón y la tilapia del Nilo (Romano et al., 2012; Aro et al., 2014; Lara-Flores et al., 2014; D. F. Zhang et al., 2015; Q. Zhang et al., 2019). Dentro de este grupo, *Oreochromis niloticus*, comúnmente conocida como tilapia del Nilo, destaca como el tercer cultivo principal en la acuicultura a nivel mundial, con una producción registrada de 4,407.2 toneladas en el año 2020 (FAO, 2022). Para la Amazonía ecuatoriana, la piscicultura de *O. niloticus* representa una de las principales actividades que provee de alimentación y sustento económico a las poblaciones nativas (Ramírez et al., 2021). No obstante, en Ecuador no se han reportado datos relevantes sobre las especies de MNT que circulan en la industria acuícola del país.

Dada la importancia económica y los posibles problemas de salud pública de la micobacteriosis en cultivos de peces de interés comercial, los reportes sobre las especies causantes de micobacteriosis de la tilapia del Nilo son de gran importancia a nivel nacional. El presente estudio, identifica MNT en *O. niloticus* criadas por piscicultura en la provincia de Napo, cantón Tena. La identificación se realiza utilizando técnicas de cultivo selectivos de micobacterias, tinción de Ziehl-Neelsen, amplificación del gen *16S rRNA* y posterior análisis de secuencias. Adicionalmente, se hace un análisis filogenético para relacionar la distribución de las especies encontradas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo de peces

Las tilapias del Nilo fueron compradas entre septiembre de 2022 y abril de 2023 de ocho diferentes granjas de cultivo ubicadas en las parroquias Tena, Muyuna, Pano, y Puerto Napo del cantón Tena. Los peces fueron colectados por un muestreo de conveniencia, llegando a un tamaño de muestra total de 103 tilapias.

### Manejo de muestras

Las tilapias, de un peso aproximado de 400 g, fueron capturadas por los piscicultores con una red de mano. Después de su compra, los peces fueron colocados individualmente en bolsas herméticas de polipropileno y transportados en una hielera hasta el laboratorio de Biología Molecular Docencia de la Universidad Regional Amazónica Ikiam para ser procesados dentro de las 3 h posteriores a la recolección. Durante este trayecto los peces murieron por hipoxia. Cada individuo, se examinó externamente buscando la posible presencia de lesiones atribuibles a micobacteriosis, seguidamente se sometieron a disección aséptica aplicando las técnicas previamente descritas por Yanong (2003). De cada individuo, se tomaron aproximadamente 0.1 g de muestras de órganos internos (hígado, bazo y riñón) y se colocaron en un tubo de 1.5 ml con 800 µl de solución salina fisiológica estéril (SSFe). En un tubo aparte, se procesaron aproximadamente 0.1 g de las branquias en 800 µl de SSFe y se maceraron las muestras con micropistilos hasta homogeneizarlas.

### Aislamiento y cultivo

Las muestras homogenizadas fueron tratadas con dos métodos con la finalidad de disminuir la contaminación por bacterias de rápido crecimiento que compiten por los nutrientes del medio. El primer método se basó en el protocolo de Ambrosio et al. (2008), alícuotas de 400 µl de los homogenizados se trataron agregando el mismo volumen de cloruro de hexadecilpiridinio (HPC) al 0.1% por 20 min y luego se centrifugaron a 1.900 g por 15 min, se descartó el sobrenadante y se neutralizó realizando tres lavados con 800 µl de agua destilada estéril. Posterior al último lavado se aplicó una reforma del método de Petroff modificado por Brian y Baker (1968), los pellets se resuspendieron con 90 µl de agua destilada estéril y se añadió el mismo volumen de NaOH al 4% por 2 min, se centrifugó a 1.900 g por 5 min, se descartó el sobrenadante y se neutralizó con dos lavados con 90 µl de agua destilada estéril. Siguiendo el protocolo de Rhodes et al. (2003), los pellets se resuspendieron en 0.1 ml de agua destilada estéril, se homogenizó y se inocularon los 0.1 ml en tubos de cultivo con medio Lowenstein-Jensen (LJ). Los tubos se incubaron a temperatura ambiente durante tres meses y fueron revisados diariamente para detectar el crecimiento bacteriano. Se realizó tinción Ziehl-Neelsen (ZN) a las colonias de cultivos axénicos, y en las que se determinó la

presencia de bacilos ácido alcohol resistentes (BAAR). Finalmente, para los análisis moleculares se extrajo el ADN y las colonias se criopreservaron para generar un banco de cepas de micobacterias.

### Extracción de ADN y Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

El método rápido modificado de los protocolos desarrollados por Koentjoro et al. (2021) y Ledesma et al. (2022) fue utilizado para la extracción de ADN de las colonias que dieron positivo a la tinción de ZN. Para ello, dos colonias fenotípicamente iguales fueron suspendidas en 0.5 ml de Buffer TE 1X, homogenizadas con vórtex e incubadas a 100 ° C durante 8 min. Luego, la suspensión se centrifugó a 17.000 g durante 5 min y se transfirió 300 µL del sobrenadante a un tubo estéril. El ADN obtenido en el sobrenadante se conservó a 4°C hasta el momento de la amplificación por PCR.

La PCR se llevó a cabo en un termociclador ProFlex™ PCR System (Applied Biosystems™ 4484073), usando GoTaq® Flexi DNA Polymerase de Promega®. Las secuencias de los primers usados en la reacción se describen en el Cuadro 1. Las mezclas y condiciones de PCR se han descrito previamente por Hernandez et al. (1999) y los amplicones resultantes fueron enviados al Departamento de Servicios de la Universidad de las Américas (Quito, Ecuador) para la secuenciación. Los productos se secuenciaron con el método de Sanger y se examinaron con el analizador genético ABI 3500xL de Applied Biosystems.

**Cuadro 1.** Descripción de primers para amplificación y secuenciación del gen *16S rRNA* de las bacterias positivas a la tinción de ZN

Gen	Primer	Secuencia	Nucleótidos	Temperatura de annealing	Referencia
16S	A1F (Forward)	5'-CTGGCTCAGGACGAACGCTG-3'	20-39	63 °C	(Cooksey et al., 2004)
	54R (Reverse)	5'-TCTAGTCTGCCCGTATCGCCC-3'	654-634		

Las secuencias *forward* y *reverse* obtenidas del gen *16S rRNA* se ensamblaron y las secuencias consenso se editaron utilizando la plataforma de Análisis de Genética Evolutiva Molecular (MEGA) versión 11 (Tamura et al., 2021). Para la identificación de especies se utilizó Megablast con la base de datos Nucleotide

collection (nt) de la plataforma del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) (Z. Zhang et al., 2000).

### Análisis filogenético

Como análisis adicional para la determinación de especies se construyó un árbol filogenético utilizando los datos obtenidos mediante la secuenciación del fragmento del gen *16S rRNA*. Las secuencias consenso fueron alineadas con 29 secuencias de referencia de *Mycobacterium* recuperadas de GenBank (Sayers et al., 2022). La alineación de la matriz de datos se realizó con la herramienta MUSCLE (Edgar, 2004). Para la construcción del árbol se utilizó el método Maximum Likelihood (ML) y el modelo evolutivo fue seleccionado mediante la herramienta Models del programa MEGA 11. La precisión resultante se midió mediante un bootstrap de 1000 repeticiones.

## RESULTADOS

De los 103 peces procesados, ninguno presentó signos de micobacteriosis, sin embargo, en cuatro de ellos se observó palidez en hígado y branquias. Un total de 206 muestras fueron procesadas y se detectó crecimiento de colonias en aquellas provenientes de siete de las ocho granjas de cultivo evaluadas. En total, 29 aislados dieron positivo para tinción de ZN. De estos, 27 se visualizaron como bacilos delgados ligeramente curvados y las colonias presentaron las características típicas del género *Mycobacterium*, crecimiento lento, producción de pigmento en unas y rugosidad en otras. Las dos colonias restantes presentaron morfología cocoide y un color naranja pálido en medio LJ.

Los detalles fenotípicos de los aislamientos de micobacterias recolectadas en este estudio se presentan en el Cuadro 2. De los 29 aislados totales, 26 se secuenciaron correctamente para el gen *16S rRNA* mientras que los 3 aislados restantes presentaron cromatogramas con alto ruido. Las dos cepas con forma cocoide se identificaron como *Rhodococcus* sp.

Cuadro 2. Detalles de las colonias positivas a tinción de ZN aisladas en órganos de *O. niloticus*

Fecha de muestreo	Granja* n = peces totales recolectados	ID pez†	Código colonia	Días de crecimiento	Especie identificada	% Identidad BLAST
19/09/2022	G1	6A	LG-6 <sup>~</sup>	63	<i>M. seoulense</i>	99.79
09/02/2023	n = 22	69A	LG-69	17	<i>M. paragordoniae/M. gordonae</i>	100
04/10/2022	G2	12A	MY-12	14	<i>M. septicum</i>	100
	n = 10	14A	MY-14 <sup>~</sup>	36	<i>M. paragordoniae/M. gordonae</i>	100
17/10/2022	G3	18A	SR-18	7	<i>M. septicum</i>	100
	n = 10	19A	SR-19 <sup>~</sup>	35	<i>M. paragordoniae/M. gordonae</i>	100
		21A	SR-21	7	<i>M. septicum</i>	100
		23A	SR-23	7	<i>M. septicum</i>	100
		24A	SR-24 <sup>~</sup>	40	<i>M. paragordoniae/M. gordonae</i>	100
		27A	SR-27	35	-----	Secuencia no legible
08/11/2022	G4	30A	SR2-30	13	<i>M. septicum</i>	99.78
	n = 16	32A	SR2p-32	21	<i>M. septicum/M. porcinum</i>	100
		34A	SR2-34	13	<i>M. septicum/M. porcinum</i>	100
29/11/2022	G5	44A	GC-44	7	<i>M. llutzerense</i>	100
	n = 10	44B	GC-44b	42	<i>Rhodococcus sp.</i>	100
		46B	GC-46b	42	<i>Rhodococcus sp.</i>	100
		47A	GC-47	7	<i>M. septicum/M. porcinum</i>	99.78
		49A	GC-49	7	<i>M. immunogenum</i>	100
10/10/2022	G6	57A	MY2-57	30	<i>M. septicum</i>	99.78
	n = 10		MY2x-57 <sup>~</sup>	30	<i>M. paragordoniae/M. gordonae</i>	99.79
		58A	MY2-58	14	<i>M. septicum</i>	100
			MY2x-58	14	<i>M. senegalense/M. farcinogenes</i>	99.79
		62A	MY2-62	20	<i>M. septicum</i>	100
		63A	MY2-63 <sup>~</sup>	42	<i>M. seoulense</i>	99.80
23/03/2023	G7	95B	TA-95b <sup>~</sup>	14	<i>M. vaccae/M. vanbaalenii</i>	98.50
	n = 10	97A	TA-97	6	-----	Secuencia no legible
		98A	TA-98	14	-----	Secuencia no legible
		102A	TA-102	14	<i>M. insubricum</i>	100
		103A	TA-103	22	<i>M. fortuitum</i>	100
05/04/2023	G8	-----	-----	-----	-----	-----
	n = 15					

† Las ID con letra A, refieren al uso de las branquias para el aislamiento; las ID con letra B, refieren al uso de los homogenizados de hígado, bazo y riñón para el aislamiento.

<sup>~</sup> Colonias escotocromógenas: color amarillo anaranjado en oscuridad.

Los porcentajes de identidad obtenidos en BLAST se presentan en el Cuadro 2. Las colonias LG-69, MY-14, SR-19, SR-24, SR2p-32, SR2-34, GC-47, MY2x-57, MY2x-58 y TA-95b presentaron porcentajes de identidad altos (98.5-100%) con dos especies diferentes. El árbol filogenético del gen *16S rRNA* (Figura 2) involucró 54 secuencias

nucleotídicas: 24 secuencias de MNT obtenidas del estudio, 29 secuencias de *Mycobacterium* spp. descargadas de GenBank y 1 secuencia de *Nocardia aobensis* como grupo externo. El modelo evolutivo usado para esta estimación fue el T92+G. Los valores del soporte nodal son mostrados en las ramas como el porcentaje de árboles (Frecuencia) en los que los taxones asociados se agruparon. El árbol está dibujado a escala, con las longitudes de las ramas medidas en número de sustituciones por sitio.

Los especímenes de rápido crecimiento *M. vanbaalenii* y *M. vaccae*, fueron agrupados con la cepa TA-95b en un clado (color celeste Figura 2) con una frecuencia alta de 99%. Todas las MLC y *M. insubricum* fueron agrupadas en un clado con una frecuencia baja de 37%. Dentro de este gran clado se observan dos grupos mayores: el grupo de color café que asocia la colonia TA-102 con *M. insubricum* con un soporte de 100% y el grupo de color rosado donde LG-6 y MY2-63 forman un grupo con *M. seoulense* (Frecuencia=91%), mientras que las colonias MY-14, SR-19, SR-24, M2x-57, LG-69 formaron un grupo con *M. paragordoniae* y *M. gordoniae* con un soporte nodal de 100%. Gran parte de las MRC obtenidas de GenBank junto con 15 colonias aisladas en el cantón Tena fueron agrupadas en un clado (color verde) medianamente sustentado (Frecuencia=57%).

En total, ocho micobacterias fueron relacionadas estrechamente con *M. septicum*, cinco con *M. paragordoniae*/*M. gordoniae*, tres con *M. septicum*/*M. porcinum*, dos con *M. seoulense*; y *M. llutzerense*, *M. immunogenum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes*, *M. vaccae*/*M. vanbaalenii*, *M. insubricum*, *M. fortuitum*, se los relacionó a un solo aislado de cada uno.



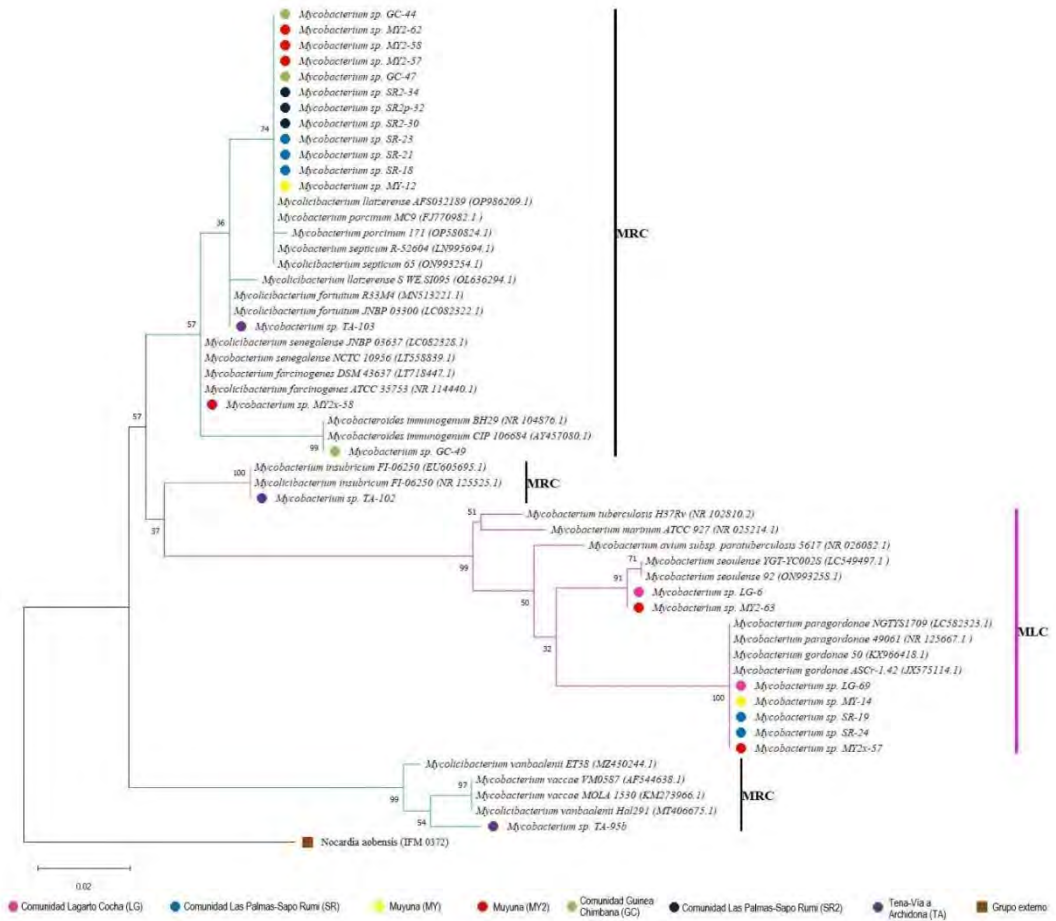


Figura 2. Árbol filogenético basado en las secuencias del gen 16S rRNA construido con el método Maximun Likelihood (ML). Se muestran las relaciones entre los aislamientos y otras especies de *Mycobacterium* descargadas de GenBank, los códigos de acceso se muestran entre paréntesis. Bootstrap se replicó 1000 veces. MRC= Micobacterias de rápido crecimiento MLC= Micobacterias de lento crecimiento.

## DISCUSIÓN

Las infecciones micobacterianas se han reportado en una amplia variedad de peces de agua dulce y salada (Decostere et al., 2004). En este estudio no se visualizó ningún síntoma característico de micobacteriosis, sin embargo, un total

de 27 cultivos selectivos de micobacterias fueron recuperados a partir de órganos de *O. niloticus* de cultivos localizados en el cantón Tena. Se identificaron seis especies estrechamente relacionadas con *M. seoulense*, *M. septicum*, *M. llatzerense*, *M. immunogenum*, *M. insubricum*, y *M. fortuitum*, y ocho especies con homología identificadas como *M. paragordoniae*/*M. gordoniae*, *M. septicum*/*M. porcinum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes*, *M. vaccae*/*M. vanbaalenii*. No obstante, es importante resaltar que del 100% de aislados micobacterianos (n=27), el 96.30% (n=26) fueron recuperados a partir de las branquias y no de los homogenizados de hígado, bazo y riñón. La piel y las branquias están en constante contacto con el agua del cultivo y sus microorganismos por lo tanto, la carga microbiana en estos tejidos es alta (Guivier et al., 2020). Por esta razón, para un diagnóstico adecuado de micobacteriosis en peces, debe evitarse el aislamiento a partir de homogenizados que incluyan piel, branquias o el pescado entero. Las micobacterias aisladas en cultivos de especies comerciales por Sevim et al. (2015), y Gcebe et al. (2018), podrían haber estado presentes de manera pasiva en los tejidos donde fueron recuperadas. Sin embargo, este tipo de estudios ayudan a pronosticar el desarrollo de micobacteriosis y, de esta manera, evitar la generación de pérdidas económicas en la piscicultura por la destrucción total de los cultivos afectados. Se ha informado casos de éxito en el tratamiento de infecciones causadas por especies del género *Mycobacterium* en peces ornamentales utilizando antibióticos (Strike et al., 2017), no obstante, el uso de estos fármacos en peces comerciales está estrictamente regulado en diversos países debido al desarrollo y transferencia de mecanismos de resistencia entre especies bacterianas, algunas de las cuales también son patógenos para los seres humanos (Lulijwa et al., 2020). Por lo tanto, hasta el momento, la profilaxis sigue siendo la mejor opción para el control de la micobacteriosis.

La detección de *Rhodococcus* sp. en los órganos de las tilapias concuerda con investigaciones anteriores que han establecido al género *Rhodococcus* como parte de la microbiota intestinal benéfica de peces, así como su potencial uso como probiótico en la acuicultura (Ponce-Granillo et al., 2016).

Las especies *M. paragordoniae* y *M. gordoniae* han sido reportadas en brotes de micobacteriosis en cultivos de carpas koi, en esturiones y en peces guppy, en donde se visualizaron granulomas característicos de la infección (Sakai et al., 2005; D. F. Zhang et al., 2015; Machida et al., 2021). *M. fortuitum* es la especie

mayormente relacionada con infecciones micobacterianas, se ha detectado en peces ornamentales (Pate et al., 2005), en granjas de cultivo de lisa blanca (Perez et al., 2001), así como, en granjas de cultivo de tilapia del Nilo en México, en donde *M. fortuitum* se la asoció como una de las principales especies en producir mortalidad (Lara-Flores et al., 2014). Un total de cinco aislados de *M. paragordoniae*/*M. gordoniae* fueron recuperados de cuatro de las siete diferentes localidades muestreadas, y, pese a que no se llegó a visualizar ninguna anomalía, no se debe descartar la presencia de la infección, pues, se conoce que la micobacteriosis puede no producir signos clínicos (Gauthier y Rhodes, 2009). De igual manera, aunque se obtuvo un solo aislado, *M. fortuitum* representa un riesgo económico para los piscicultores de la zona por los reportes previamente mencionados de la alta mortalidad asociada a la formación de granulomas en órganos internos durante una infección crónica (Talaat et al., 1999; Johansen y Kremer, 2020). Se debe tener presente que las condiciones ambientales y el estrés ocasionado por la mala calidad del agua o la alta densidad de cultivo (comunes en la piscicultura) son factores importantes en la activación de la enfermedad (Delghandi et al., 2020). En la literatura, no se ha encontrado reportes de micobacteriosis en peces por *M. septicum*, *M. llatzerense*, *M. seoulense*, *M. immunogenum*, *M. porcinum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes*, *M. insubricum*, *M. vaccae*/*M. vanbaalenii*.

Las MNT identificadas en los cultivos de *O. niloticus*, también representan un riesgo para la salud pública por el potencial zoonótico de algunas especies. Las infecciones pueden producirse por la exposición de una herida abierta a fuentes de agua contaminada o por lesiones causadas por aletas de pescados contaminados (Bhambri et al., 2009). Se conoce que *M. gordoniae*, *M. porcinum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes* y *M. fortuitum* pueden causar lesiones cutáneas dolorosas como nódulos violáceos, abscesos, celulitis o foliculitis con diferentes grados de riesgo, en personas inmunocompetentes e inmunodeprimidas (Brown-Elliott et al., 2011; Sethi et al., 2014; Chung et al., 2018; Chang et al., 2021; Cheng y Lee, 2022), mientras que *M. llatzerense* solo se ha reportado en pacientes inmunocomprometidos (Torosian et al., 2023). Por esta razón, la manipulación de los peces en los cultivos y el pescado crudo, debe realizarse usando medidas de protección. *M. insubricum* ha sido aislado de muestras de esputo, no obstante, todos los aislados demostraron poca importancia clínica (Tortoli et al., 2009).

Mientras tanto, *M. paragordoniae*, *M. septicum*, *M. llutzerense*, *M. seoulense*, *M. immunogenum*, *M. porcinum*, y *M. fortuitum* pueden producir infecciones pulmonares importantes (Park et al., 2008; Sungkapalee et al., 2012; Teixeira et al., 2013; Go et al., 2020; Li et al., 2022). Sin embargo, el riesgo de contagio para los trabajadores del sector acuicola es bajo, debido a que la infección pulmonar se desarrolla por la ingesta del agua contaminada (Whiley et al., 2012). De igual manera, las MNT aisladas de *O. niloticus* no plantean riesgos importantes en términos de seguridad alimentaria, dado que estos pescados son sometidos a cocción antes de ser consumidos (Sevim et al., 2015). Por otro lado, la búsqueda y el hallazgo de nuevas MNT puede conllevar al descubrimiento de especies benéficas estimulantes del sistema inmune y para el desarrollo de tratamientos de enfermedades. Un ejemplo de esto es *M. vaccae*, que se está estudiando principalmente para su uso como agente inmunoterapéutico en el tratamiento de la tuberculosis, el cáncer, el asma, la dermatitis atópica y la psoriasis (Balagon et al., 2000; Hadley et al., 2005; Stanford et al., 2008; Yang et al., 2011; Jiang et al., 2021). Del mismo modo, estudios realizados en ratas mencionan el potencial de *M. vaccae* en la microbiota intestinal para reducir el estrés mejorando la inmunomodulación en el sistema nervioso central y estimulando la producción de serotonina (Matthews y Jenks, 2013; Fox et al., 2017; Frank et al., 2018).

Por último, la entidad de las colonias que dieron un porcentaje de identidad alto (98-100%) para dos especies, deben aclararse en estudios a futuro. Aunque el análisis del gen *16S rRNA* es ampliamente utilizado en la detección de micobacterias, la alta conservación de este gen limita su utilidad para diferenciar especies estrechamente relacionadas (Gauthier y Rhodes, 2009). Por ejemplo, *M. paragordoniae* y *M. gordonae* comparten un 99% de homología de secuencia del gen *16S rRNA* (Kim et al., 2014), de igual manera, *M. septicum* con *M. porcinum* y *M. senegalense* con *M. farcinogenes* están estrechamente relacionados (Adékambi y Drancourt, 2004). Los objetivos genéticos para la detección molecular de micobacterias que pueden ser usados para la determinación específica a nivel de especie son la proteína de choque térmico 65 (*hsp65*) y los genes de la subunidad B de la ARN polimerasa (*rpoB*) (D. F. Zhang et al., 2015).

## CONCLUSIONES

Un total de seis especies fueron identificadas estrechamente relacionadas con *M. seoulense*, *M. septicum*, *M. llutzerense*, *M. immunogenum*, *M. insubricum*, y *M. fortuitum*, y ocho especies con homología identificadas como *M. paragordoniae*/*M. gordoniae*, *M. septicum*/*M. porcinum*, *M. senegalense*/*M. farcinogenes*, *M. vaccae*/*M. vanbaalenii*, de granjas de cultivo de *O. niloticus* ubicadas en el cantón Tena. Hasta la fecha, este es el primer estudio que informa sobre el aislamiento de MNT en cultivos de peces comerciales en el país.

Las especies *M. paragordoniae*/*M. gordoniae* y *M. fortuitum* son capaces de amenazar la piscicultura emergente de tilapias de Nilo de Napo por la inminente activación de la micobacteriosis ante factores de estrés.

El aislamiento de MNT a partir de las branquias demostró ser una alternativa factible para la recuperación de estos microorganismos y la prevención de futuros escenarios catastróficos en el sector piscícola.

Gran parte de las MNT identificadas son especies potencialmente patógenas para humanos inmunocompetentes e inmunocomprometidos. Por tal razón, los piscicultores deben establecer mejores medidas de manipulación para evitar la exposición directa de heridas abiertas con el agua y reducir el riesgo de lesiones causadas por las aletas.

## REFERENCIAS

- Adékambi T, Drancourt M. (2004). Dissection of phylogenetic relationships among 19 rapidly growing Mycobacterium species by 16S rRNA, hsp65, sodA, recA and rpoB gene sequencing. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 54(6): 2095–2105. <https://doi.org/10.1099/ijls.0.63094-0>
- Ambrosio SR, de Deus Oliveira EM, Rodriguez CA, Ferreira Neto JS, Amaku M. (2008). Comparison of three decontamination methods for Mycobacterium bovis isolation. *Brazilian Journal of Microbiology* 39(2): 241–244. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000200008>

- Ananda Raja R, Jithendran KP. (2015). Aquaculture Disease Diagnosis and Health Management. En S. Perumal, T. A.R., & P. Pachiappan (Eds.), *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture*. Springer India. p. 247–255. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2\\_23](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2_23)
- Aro L, Correa K, Martínez A, Ildelfonso R, Yáñez JM. (2014). Characterization of *Mycobacterium salmoniphilum* as causal agent of mycobacteriosis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., from a freshwater recirculation system. *Journal of Fish Diseases* 37(4): 341–348. <https://doi.org/10.1111/jfd.12108>
- Austin B, Austin DA. (2016). *Bacterial Fish Pathogens (Sixth)*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
- Balagon MV., Walsh DS, Tan PL, Cellona RV, Abalos RM., Tan EV, Fajardo TT, Watson JD, Walsh GP. (2000). Improvement in psoriasis after intradermal administration of heat-killed *Mycobacterium vaccae*. *International Journal of Dermatology* 39(1): 51–58. <https://doi.org/10.1046/j.1365-4362.2000.00862.x>
- Bhambri S, Bhambri A, Del Rosso JQ. (2009). Atypical Mycobacterial Cutaneous Infections. *Dermatologic Clinics* 27(1): 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.det.2008.07.009>
- Brian A, Baker F. (1968). *Mycobacteria* Butterworths & Co. Publishers.
- Brown-Elliott BA, Wallace RJ, Tichindelean C, Sarria JC, McNulty S, Vasireddy R, Bridge L, Mayhall CG, Turenne C, Loeffelholz M. (2011). Five-Year Outbreak of Community- and Hospital-Acquired *Mycobacterium porcinum* Infections Related to Public Water Supplies. *Journal of Clinical Microbiology* 49(12): 4231–4238. <https://doi.org/10.1128/JCM.05122-11>
- Chang HY, Tsai WC, Lee TF, Sheng WH. (2021). *Mycobacterium gordonae* infection in immunocompromised and immunocompetent hosts: A series of seven cases and literature review. *Journal of the Formosan Medical Association* 120(1): 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2020.06.029>

- Cheng AY, Lee CH. (2022). Skin infection by *Mycobacterium farcinogenes-senegalense* group in an immunocompetent patient: a case report. *BMC Infectious Diseases* 22(1): 445. <https://doi.org/10.1186/s12879-022-07409-z>
- Chung J, Ince D, Ford BA, Wanat KA. (2018). Cutaneous Infections Due to Nontuberculosis *Mycobacterium*: Recognition and Management. *American Journal of Clinical Dermatology* 19(6): 867–878. <https://doi.org/10.1007/s40257-018-0382-5>
- Cooksey RC, de Waard JH, Yakus MA, Rivera I, Chopite M, Toney SR., Morlock GP, Butler WR. (2004). *Mycobacterium cosmeticum* sp. nov., a novel rapidly growing species isolated from a cosmetic infection and from a nail salon. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 54(6): 2385–2391. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63238-0>
- Decostere A, Hermans K, Haesebrouck F. (2004). Piscine mycobacteriosis: a literature review covering the agent and the disease it causes in fish and humans. *Veterinary Microbiology* 99(3–4): 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2003.07.011>
- Delghandi MR, El-Matbouli M, Menanteau-Ledouble S. (2020). Mycobacteriosis and Infections with Non-tuberculous *Mycobacteria* in Aquatic Organisms: A Review. *Microorganisms* 8(9): 1368. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091368>
- Edgar RC. (2004). MUSCLE: multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. *Nucleic Acids Research* 32(5): 1792–1797. <https://doi.org/10.1093/nar/gkh340>
- FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. En *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Fox JH, Hassell JE, Siebler PH, Arnold MR, Lamb AK, Smith DG, Day HEW, Smith TM, Simmerman EM, Outzen AA, Holmes KS, Brazell CJ, Lowry CA. (2017). Preimmunization with a heat-killed preparation of *Mycobacterium vaccae* enhances fear extinction in the fear-potentiated startle paradigm. *Brain, Behavior, and Immunity* 66: 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2017.08.014>

- Frank MG, Fonken LK, Dolzani SD, Annis JL, Siebler PH, Schmidt D, Watkins LR, Maier SF, Lowry CA. (2018). Immunization with *Mycobacterium vaccae* induces an anti-inflammatory milieu in the CNS: Attenuation of stress-induced microglial priming, alarmins and anxiety-like behavior. *Brain, Behavior, and Immunity* 73: 352–363. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.05.020>
- Gauthier D, Rhodes M. (2009). Mycobacteriosis in fishes: A review. *The Veterinary Journal* 180(1): 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.05.012>
- Gauthier D, Rhodes M, Vogelbein W, Kator H, Ottinger C. (2003). Experimental mycobacteriosis in striped bass *Morone saxatilis*. *Diseases of aquatic organisms* 54(2): 105–117. <https://doi.org/10.3354/dao054105>
- Gcebe N, Michel AL, Hlokwe TM. (2018). Non-tuberculous *Mycobacterium* species causing mycobacteriosis in farmed aquatic animals of South Africa. *BMC Microbiology* 18(1): 32. <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1177-9>
- Go JR, Wengenack NL, Abu Saleh OM, Corsini Campioli C, Deml SM, Wilson JW. (2020). *Mycobacterium septicum*: a 6-Year Clinical Experience from a Tertiary Hospital and Reference Laboratory. *Journal of Clinical Microbiology* 58(12): e02091-20. <https://doi.org/10.1128/JCM.02091-20>
- Guivier E, Pech N, Chappaz R, Gilles A. (2020). Microbiota associated with the skin, gills, and gut of the fish *Parachondrostoma toxostoma* from the Rhône basin. *Freshwater Biology* 65(3): 446–459. <https://doi.org/10.1111/fwb.13437>
- Hadley EA, Smillie FI, Turner MA, Custovic A, Woodcock A, Arkwright PD. (2005). Effect of *Mycobacterium vaccae* on cytokine responses in children with atopic dermatitis. *Clinical and Experimental Immunology* 140(1): 101–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.2005.02743.x>
- Hernandez SM, Morlock GP, Butler WR, Crawford JT, Cooksey RC. (1999). Identification of *Mycobacterium* Species by PCR-Restriction Fragment Length Polymorphism Analyses Using Fluorescence Capillary Electrophoresis. *Journal of Clinical Microbiology* 37(11): 3688–3692. <https://doi.org/10.1128/JCM.37.11.3688-3692.1999>



- Jacobs JM, Stine CB, Baya AM, Kent ML. (2009). A review of mycobacteriosis in marine fish. *Journal of Fish Diseases* 32(2): 119–130. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.01016.x>
- Jiang XH, Li CQ, Feng GY, Luo MJ, Sun QX, Huang J. (2021). *Mycobacterium vaccae* nebulization protects Balb/c mice against bronchial asthma through neural mechanisms. *Journal of Asthma* 58(8): 1003–1012. <https://doi.org/10.1080/02770903.2020.1761381>
- Johansen MD, Kremer L. (2020). CFTR Depletion Confers Hypersusceptibility to *Mycobacterium fortuitum* in a Zebrafish Model. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 10. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.00357>
- Kim BJ, Hong SH, Kook YH, Kim BJ. (2014). *Mycobacterium paragordoniae* sp. nov., a slowly growing, scotochromogenic species closely related to *Mycobacterium gordonae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt\_1): 39–45. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.051540-0>
- Koentjoro MP, Donastin A, Prasetyo EN. (2021). A simple method of DNA extraction of *Mycobacterium tuberculosis* from sputum cultures for sequencing analysis. *African journal of infectious diseases* 15(2 Suppl): 19–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.21010/ajidv15i2S:2>
- Lara-Flores M, Aguirre-Guzman G, Balan-Zetina SB, Sonda-Santos KY, Zapata AA. (2014). Identification of *Mycobacterium* Agent Isolated from Tissues of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 14(2). [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14\\_2\\_29](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_2_29)
- Ledesma Y, Echeverría G, Claro-Almea FE, Silva D, Guerrero-Freire S, Rojas Y, Bastidas-Caldes C, Navarro JC, de Waard JH. (2022). The Re-Identification of Previously Unidentifiable Clinical Non-Tuberculous Mycobacterial Isolates Shows Great Species Diversity and the Presence of Other Acid-Fast Genera. *Pathogens* 11(10): 1159. <https://doi.org/10.3390/pathogens11101159>
- Li Y, Zhang W, Zhao J, Lai W, Zhao Y, Li Y, Qu J. (2022). *Mycobacterium paragordoniae* is an emerging pathogen in human pulmonary disease: clinical

features, antimicrobial susceptibility testing and outcomes. *Emerging Microbes & Infections* 11(1): 1973–1981. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2103453>

Liao IC, Chao NH. (2009). Aquaculture and food crisis: opportunities and constraints. *Asia Pacific journal of clinical nutrition* 18(4): 564–569.

Lulijwa R, Rupia EJ, Alfaro AC. (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture* 12(2): 640–663. <https://doi.org/10.1111/raq.12344>

Machida Y, Tang BCC, Yamada M, Sato S, Nakajima K, Matoyama H, Kishihara T, Endo M, Sano M, Kato G. (2021). Mycobacteriosis in cultured koi carp *Cyprinus carpio* caused by *Mycobacterium paragordonae* and two *Mycolicibacterium* spp. *Aquaculture* 539: 736656. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736656>

Matthews DM, Jenks SM. (2013). Ingestion of *Mycobacterium vaccae* decreases anxiety-related behavior and improves learning in mice. *Behavioural Processes* 96: 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.02.007>

Miccoli A, Manni M, Picchietti S, Scapigliati G. (2021). State-of-the-Art Vaccine Research for Aquaculture Use: The Case of Three Economically Relevant Fish Species. *Vaccines* 9(2): 140. <https://doi.org/10.3390/vaccines9020140>

Novotny L, Dvorska L, Lorencova A, Beran V, Pavlik I. (2004). Fish: a potential source of bacterial pathogens for human beings. *Veterinarni Medicina* 49(9): 343–358.

Park S, Suh GY, Chung MP, Kim H, Kwon OJ, Lee KS, Lee NY, Koh WJ. (2008). Clinical significance of *Mycobacterium fortuitum* isolated from respiratory specimens. *Respiratory Medicine* 102(3): 437–442. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2007.10.005>

Pate M, Jencic V, Zolnir-Dovc M, Ocepek M. (2005). Detection of mycobacteria in aquarium fish in Slovenia by culture and molecular methods. *Diseases of Aquatic Organisms* 64: 29–35. <https://doi.org/10.3354/dao064029>

- Perez AT, Conroy DA, Quiñones L. (2001). Presence of acid-fast bacteria in wild and cultured silver mullets (*mugil curema* val., 1836) from Margarita Island, Venezuela. *Interciencia* 26(6): 252–256. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33905705>
- Ponce-Granillo C, Monroy-Dosta M, Becerril-Cortés D, Castro-Mejía J, Ocampo-Cervantes J. (2016). Potential use in aquaculture of *Rhodococcus* sp. (Zopf, 1891). *Revista Digital E Bios* 1(12): 1–6.
- Ramírez P, Luna M, Ruilova M, Avila J, Bucheli S, Castro J. (2021). Análisis económico financiero y de sensibilidad de la producción de tilapia (*Oreochromis* spp.) En la región Amazónica Ecuatoriana. *Journal of Science and Research* 6(3): 205–225.
- Romano LA, Sampaio LA, Tesser MB. (2012). Micobacteriose por *Mycobacterium marinum* em “linguado” *Paralichthys orbignyanus* e em “barber goby” *Elacatinus figaro*: diagnóstico histopatológico e imuno-histoquímico. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 32(3): 254–258. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012000300013>
- Runyon EH. (1959). Anonymous Mycobacteria in Pulmonary Disease. *Medical Clinics of North America* 43(1): 273–290. <https://doi.org/10.1016/S0025->
- Sakai M, Kono T, Tassakka AC, Ponpornpisit A, Areechon N, Katagiri T, Yoshida T, Endo M. (2005). Characterization of a *Mycobacterium* sp. isolated from guppy *Poecilia reticulata*, using 16S ribosomal RNA and its internal transcribed spacer sequences. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 25(2): 64–69.
- Sayers EW, Bolton EE, Brister JR, Canese K, Chan J, Comeau DC, Connor R, Funk K, Kelly C, Kim S, Madej T, Marchler-Bauer A, Lanczycki C, Lathrop S, Lu Z, Thibaud-Nissen F, Murphy T, Phan L, Skripchenko Y, ... Sherry ST. (2022). Database resources of the national center for biotechnology information. *Nucleic Acids Research* 50(D1): D20–D26. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1112>
- Sethi S, Arora S, Gupta V, Kumar S. (2014). Cutaneous *Mycobacterium fortuitum* infection: Successfully treated with amikacin and ofloxacin combination. *Indian*

Journal of Dermatology 59(4): 383–384. <https://doi.org/10.4103/0019-5154.135491>

Sevim P, Ozer S, Rad F. (2015). First isolation of *Mycobacterium* spp. in *Mullus* spp. in Turkey. *Iranian journal of veterinary research* 16(2): 144–149.

Slany M, Makovcova J, Jezek P, Bodnarova M, Pavlik I. (2014). Relative prevalence of *Mycobacterium marinum* in fish collected from aquaria and natural freshwaters in central Europe. *Journal of Fish Diseases* 37(6): 527–533. <https://doi.org/10.1111/jfd.12135>

Stanford JL, Stanford CA, O'Brien MER, Grange JM. (2008). Successful immunotherapy with *Mycobacterium vaccae* in the treatment of adenocarcinoma of the lung. *European Journal of Cancer* 44(2): 224–227. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2007.08.021>

Strike TB, Feltrer Y, Flach E, Macgregor SK, Guillaume S. (2017). Investigation and management of an outbreak of multispecies mycobacteriosis in Australian lungfish (*Neoceratodus fosteri*) including the use of triple antibiotic treatment. *Journal of Fish Diseases* 40(4): 557–570. <https://doi.org/10.1111/jfd.12535>

Sungkapalee T, Ellison RT, Brown-Elliott BA, Vasireddy R, Jr RJW. (2012). Persistent *Mycobacterium seoulense* pulmonary disease. *En International Journal of Infectious Diseases* 16(1) pp. e158–e316). *International Journal of Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2012.05.977>

Talaat AM, Trucksis M, Kane AS, Reimschuessel R. (1999). Pathogenicity of *Mycobacterium fortuitum* and *Mycobacterium smegmatis* to goldfish, *Carassius auratus*. *Veterinary Microbiology* 66(2): 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0378-1135\(99\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1135(99)00002-4)

Tamura K, Stecher G, Kumar S. (2021). MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution* 38(7): 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>

- Teixeira L, Avery RK, Iseman M, Arrossi AV., Harrington S, Stephens K, Winans CG. (2013). Mycobacterium llatzerense Lung Infection in a Liver Transplant Recipient: Case Report and Review of the Literature. American Journal of Transplantation 13(8): 2198–2200. <https://doi.org/10.1111/ajt.12318>
- Torosian A, Ly L, Murina A, Bitar C. (2023). A case of cutaneous Mycobacterium llatzerense. JAAD Case Reports 31: 53–55. <https://doi.org/10.1016/j.jdc.2022.11.005>
- Tortoli E, Baruzzo S, Heijdra Y, Klenk HP, Lauria S, Mariottini A, van Ingen J. (2009). Mycobacterium insubricum sp. nov. International journal of systematic and evolutionary microbiology 59(6): 1518–1523. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.003459-0>
- Valdés F, Cid A. (2004). Micobacterias atípicas. Actas Dermo-Sifiliográficas 95(6): 331–357. [https://doi.org/10.1016/S0001-7310\(04\)76833-7](https://doi.org/10.1016/S0001-7310(04)76833-7)
- Whiley H, Keegan A, Giglio S, Bentham R. (2012). Mycobacterium avium complex - the role of potable water in disease transmission. Journal of Applied Microbiology 113(2): 223–232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05298.x>
- Yang XY, Chen QF, Ly YP, Wu SM. (2011). Mycobacterium vaccae as Adjuvant Therapy to Anti-Tuberculosis Chemotherapy in Never-Treated Tuberculosis Patients: A Meta-Analysis. PLoS ONE 6(9): e23826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023826>
- Yanong RPE. (2003). Necropsy techniques for fish. Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine 12(2): 89–105. <https://doi.org/10.1053/saep.2003.127885>
- Zhang DF, Ji C, Zhang XJ, Li TT, Li AH, Gong XN. (2015). Mixed mycobacterial infections in farmed sturgeons. Aquaculture Research 46(8): 1914–1923. <https://doi.org/10.1111/are.12346>
- Zhang Q, Wang X, Zhang D, Long M, Wu Z, Feng Y, Hao J, Wang S, Liao Q, Li A. (2019). De novo Assembly and Analysis of Amur Sturgeon (Acipenser schrenckii) Transcriptome in Response to Mycobacterium Marinum Infection to Identify

Putative Genes Involved in Immunity. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 29(8): 1324–1334. <https://doi.org/10.4014/jmb.1903.03034>

Zhang Z, Schwartz S, Wagner L, Miller W. (2000). A Greedy Algorithm for Aligning DNA Sequences. *Journal of Computational Biology* 7(1–2): 203–214. <https://doi.org/10.1089/10665270050081478>



## Evaluación de baños hipersalinos para el control del monogéneo *Neobenedenia* sp. parásito del pez fuerte *Seriola rivoliana*

Evaluation of hypersaline baths for the control of the monogenean *Neobenedenia* sp. parasite of almaco jack *Seriola rivoliana*

Roxana Bertha Inohuye-Rivera, Juan Carlos Pérez-Urbiola

Programa de Acuicultura del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S, C (CIBNOR) La Paz, Baja California Sur. México

Roxana Bertha Inohuye-Rivera  [rinohuye@cibnor.mx](mailto:rinohuye@cibnor.mx)

Palabras clave |  
*Neobenedenia* spp.,  
tratamiento,  
hipersalinidad,  
*Seriola rivoliana* .

**RESUMEN** | *Neobenedenia* spp. son parásitos de la piel que afectan a numerosas especies de peces de cultivo en todo el mundo como los jureles, pargos, cabrillas, lenguados entre otros. Este parásito puede ocasionar desde daños leves en la piel hasta la muerte de los peces, dependiendo de la intensidad de la infección y la condición de los peces. Los tratamientos usuales son baños cortos de agua dulce, formalina y peróxido de hidrógeno. El uso de tratamientos hipersalinos se ha realizado en muy pocas especies de parásitos que afectan a peces marinos. El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad de baños hipersalinos cortos de 60 y 70 ppt por periodos cortos de 3, 5 y 10 minutos en juveniles del pez fuerte *Seriola rivoliana*. Los baños hipersalinos de 60 y 70 ppt por 3 y 5 min no fueron efectivos pues los parásitos persisten y continuaron reproduciéndose en los peces. Sin embargo, en el baño de 70 ppt por 10 minutos mostró un 100% de efectividad, si bien los parásitos no se desprendieron durante el tratamiento, si fueron afectados en su reproducción y fijación al hospedero. Los jureles toleraron el tratamiento y los baños hipersalinos pueden ser una nueva opción para el control de estos parásitos.

Keywords |  
*Neobenedenia* spp.,  
 treatment,  
 hypersalinity,  
*Seriola rivoliana*.

**ABSTRACT** | *Neobenedenia* spp. parasite the skin of numerous species of farmed fish around the world such as jacks, snappers, groupers, soles, among others. This parasite can cause anything from mild skin damage to fish death depending on the intensity of the infection and the condition of the fish. The usual treatments are short baths of fresh water, formalin and hydrogen peroxide. The use of hypersaline treatments has been carried out on very few species of parasites that affect marine fish. The objective of the work was to evaluate the effectiveness of short hypersaline baths of 60 and 70 ppt for short periods of 3, 5 and 10 minutes in juveniles of the almaco jack *Seriola rivoliana*. The hypersaline baths of 60 and 70 ppt for 3 and 5 min were not effective because the parasites persisted and continued to reproduce in the fish. However, in the 70 ppt bath for 10 minutes it showed 100% effectiveness, although the parasites were not detached during the treatment, they were affected in their reproduction and fixation to the host. Almaco jack juveniles tolerated the treatment and hypersaline baths could be a new option for controlling these parasites.

## INTRODUCCIÓN

Los monogéneos son parásitos habituales de la piel y branquias de los peces. Su ciclo de vida es directo, solo requieren un hospedero y presentan las fases de adulto, huevo y larva. En condiciones naturales, los niveles de infección, prevalencia e intensidad son moderados y responden a una larga relación evolutiva entre hospedero y parásito. Sin embargo, en sistemas de confinamiento, tanto acuarios, sistemas de experimentación y cultivos a diferentes escalas, las condiciones abióticas como la temperatura, salinidad, entre otras; y las condiciones biológicas como la densidad y la condición de los peces pueden favorecer que los monogéneos alcancen niveles elevados de infección (Buchmann y Bresciani, 2006).

*Neobenedenia* spp. afecta la acuicultura mundial en peces de interés como tilapia, barramundi, carángidos, lutjánidos, pleuronéctidos, serránidos y tetraodóntidos en el Caribe, Hawái, Australia del este, Japón, Sureste de Asia, Israel (Whittington, 2005) y en México está presente en el jurel pez fuerte *Seriola rivoliana* especie de interés para la acuicultura en jaulas marinas. Los peces afectados por este parásito, dependiendo del nivel de infección pueden mostrar disminución del



apetito, lento crecimiento, oscurecimiento de la piel, exceso de mucus, daño epitelial, pérdida de escamas, daño dérmico, hemorragias, heridas, ceguera y la muerte (Buchmann y Bresciani, 2006).

Los tratamientos habituales para el control de estos parásitos son baños cortos de agua dulce, peróxido de hidrógeno y formalina; y antiparasitarios como el praziquantel vía el alimento (Noga, 2010; Treves-Brown, 2000). Dada la importancia del parásito se continua la investigación en otras alternativas de tratamientos de prevención y control que representen ventajas de mayor efectividad y factibilidad de aplicación y por otro parte menor impacto en el ambiente y menores costos.

El efecto de las sales como tratamiento radica en que afectan la osmorregulación de los parásitos y su uso es ampliamente recomendado para el control de ectoparásitos en peces de agua dulce (Schelkle *et al.*, 2011), pero hay escasos trabajos donde se evaluó su utilidad en peces marinos como *Heteroxine* sp. en jurel de castilla (Avilés y Castello, 2004), *Neoheterobothrium hirame* en lenguado japonés (Isshiki *et al.*, 2003) en ambos casos monogéneos parásitos de branquias.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la efectividad de dos concentraciones hipersalinas y tres tiempos cortos de aplicación para el control de *Neobenedenia* sp. parásito de la piel de juveniles de pez fuerte *S. rivoliana*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Peces

Un lote de 50 juveniles del pez fuerte *S. rivoliana* no infectados, donados por la empresa Kampachi Farms México, se mantuvo en tanques de 600 l con flujo abierto de agua marina a 37 ppt y 27-28 °C con aireación. Se alimentaron con un pellet comercial a saciedad. Los peces alcanzaron al inicio de la experimentación 200-270 mm de longitud total y un peso de 136-265g con un promedio de 240 mm y 189 g respectivamente.

## Parásitos

Un lote de jureles *S. rivoliانا* infectados con *Neobenedenia* spp. fue mantenido en las instalaciones del centro de investigaciones. Los huevos de parásitos se obtuvieron utilizando un colector que consiste en un hilo de nylon multifilamento de 3 mm diámetro y 30 cm de longitud que se colocó en la manguera de aireación del tanque por 24 horas. Estos colectores se lavaron e incubaron en el laboratorio donde se obtuvieron las larvas denominadas oncomiracidios.

Los peces para los ensayos se infectaron siguiendo el protocolo usual, que consiste en suspender la aireación y flujo de agua, agregar las larvas del parásito recién eclosionadas y restaurar las condiciones de flujos en 10 minutos. Una semana después de la infección y cuando los parásitos han alcanzado la etapa adulta se procedió al monitoreo diario del nivel de infección por medio de los colectores. Estos se revisaron en microscopio estereoscópico para determinar presencia y cantidad de huevos. Cuando en un lote se contabilizaron más de 400 huevos se programó el tratamiento hipersalino. Se utilizaron 8 lotes infectados con 3 a 7 peces cada uno.

## Tratamiento hipersalino

A un tanque de 20 L de agua de mar a 37 ppm se agregó sal marina obtenida por evaporación para obtener la salinidad requerida de 60 y 70 ppm, la cual se verificó con un refractómetro.

Los peces se anestesiaron con eugenol 1 ml/100L y se transfirieron uno a la vez al tanque de tratamiento por el tiempo establecido. Al término se ubicaron en un tanque nuevo y se colocó un colector para verificar la persistencia de los parásitos adultos 24 horas después. Se examinó el sedimento del tanque de tratamiento para contabilizar los parásitos desprendidos.

## RESULTADOS

Se realizaron 8 bioensayos para evaluar las salinidades de 60 y 70 ppt por un tiempo de 3, 5 y 10 minutos (Tabla 1). No se registró mortalidad de los peces durante el tratamiento ni durante los 15 días posteriores al ensayo.

En todos los casos se observó que los parásitos adultos en el pez (Figura 1a) adquieren un color opaco, los bordes del cuerpo se ondulan y pierden fijación en la parte anterior del cuerpo donde se encuentran las ventosas anteriores o prohaptor (Fig. 1b). Muy pocos parásitos adultos y juveniles se desprenden durante el baño.

La evaluación postratamiento de la presencia de parásitos por medio de la detección de los huevos (Tabla 1, Fig. 1c) indicó que solo el tratamiento de 70 ppt por 10 minutos fue 100% efectivo en el control de los parásitos.

Tabla 1. Evaluación del baño hipersalino a juveniles del pez fuerte *S. rivoliana* para el control de *Neobenedenia* sp.

Salinidad ppt	Tiempo min	Peces n	Sedimento Parásitos adultos-juveniles		Huevos Pre-tratamiento	Huevos Post-tratamiento
60	3	6	+	+	1500	640
60	3	6		+	800	800
60	5	7	+		1250	380
60	5	6	+		1600	1750
60	5	5	+	+	1000	100
70	5	7	+		450	6
70	10	3	+	+	420	0
70	10	4	+		3000	0

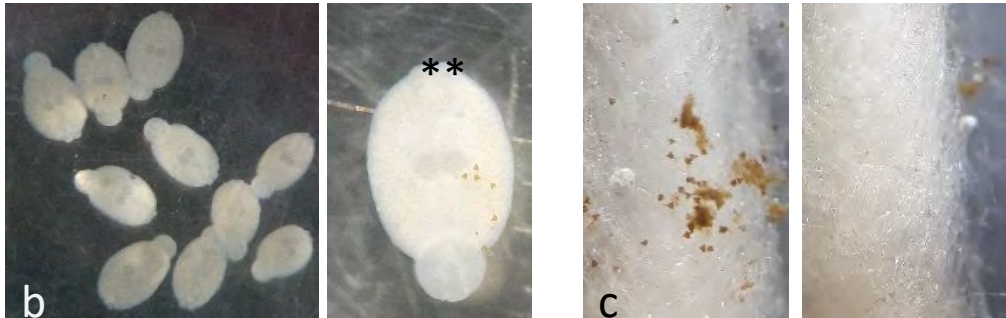
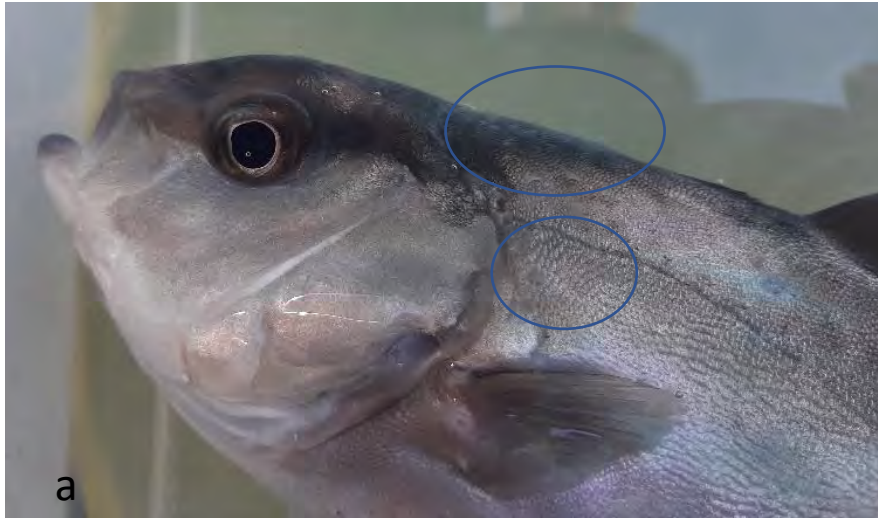


Figura 1a. Parásitos *Neobenedenia* sp. en la piel del pez fuerte *Seriola rivoliana* durante tratamiento de hipersalinidad. Círculo azul-parásitos. 1b) Parásitos en sedimento \*\*ventosas anteriores. Longitud total del parásito 4-5 mm. 1c) Colector con huevos tetraédricos amarillos y colector limpio izquierda, longitud del huevo sin filamento 120-130 micras.

## DISCUSIÓN

En los tratamientos hipersalinos realizados se observó que los parásitos eran más evidentes a simple vista al cambiar su coloración de transparente-blanquecina a color marrón, ondular los bordes del cuerpo y mostrar el extremo cefálico libre al no adherirse con las ventosas anteriores, lo cual puede ser consecuencia del

efecto osmótico que ocasiona pérdida de agua y deshidratación en el parásito (Schelkle *et al.*, 2011). Contrasta con el efecto del baño de agua dulce donde se favorece la entrada de agua a las células del parásito y la producción de mucus del hospedero por lo que los parásitos se tornan blanquecinos y se desprenden en pocos minutos (Avilés y Castello, 2004).

Uno de los efectos deseables del tratamiento es el desprendimiento de los parásitos, sin embargo, en los ensayos realizados se observó que la mayor parte de los parásitos permanecen en los hospederos. Por una parte, el efecto osmótico del baño hipersalino también incide en la piel del hospedero y la deshidratación podría favorecer que la ventosa posterior que está armada con fuertes ganchos mantenga su fijación mecánica (Whittington, 2005). Por otra parte, también puede ser necesario incrementar el tiempo de exposición como ocurre en el parásito *Pseudorhabdosynochus lantauensis* de la cabrilla *Epinephelus coioides* donde la eficacia del tratamiento se incrementa del 7% al 67% al extender el tiempo del tratamiento de 30 a 60 minutos para una salinidad de 60 ppt (Cruz-Lacierda *et al.*, 2012). O bien aumentar la concentración donde niveles de 8% de NaCl (equivalente a 80 ppt) de 1 a 5 minutos se obtiene la eliminación total de los parásitos de las branquias *Microcotyle tai* de la dorada japonesa *Pagrus major* (Fujita, 1969) y *Neoheterobothrium hirame* del lenguado japonés *Paralichthys olivaceus* respectivamente (Ishiki *et al.*, 2003).

Otro efecto deseable del tratamiento es ocasionar un daño severo a los parásitos, como el observado en los ensayos en el presente trabajo de 70 ppt por 10 minutos donde los parásitos no pueden continuar su reproducción al no producir huevos, condición que no ha sido registrada en baños hipersalinos en otras especies de peces (Fujita, 1969; Yoshinaga *et al.*, 2000; Ishiki *et al.*, 2003; Cruz-Lacierda *et al.*, 2012).

Como todo tratamiento, los baños hipersalinos pueden tener efectos adversos en los peces si la dosis y tiempo excede el nivel de tolerancia. Se ha registrado mortalidad de peces y daños en la piel como abrasiones (Fujita, 1969; Cruz-Lacierda *et al.*, 2012). Si bien en este estudio no se registró mortalidad ni daños aparentes en los peces, se recomienda realizar estudios más finos para evaluar el efecto en la piel de los peces.

## CONCLUSIONES

Este es el primer trabajo que evalúa el tratamiento de hipersalinidad para el control de monogéneos parásitos de piel.

Para el control de *Neobenedenia* sp. en el jurel *S. rivoliana* el baño hipersalino corto de 70 ppt por 10 minutos es efectivo ya que afecta la reproducción del parásito.

El baño hipersalino se considera una alternativa de tratamiento cuando las condiciones limiten el uso de otros tratamientos efectivos como el baño de agua dulce, formalina o peróxido de hidrógeno.

## Agradecimientos

Al personal de la línea estratégica de Peces del CIBNOR La Paz, Francisco Encarnación Ramírez, Juan Alvarado, Mario Osuna García y Pedro Uriarte por el apoyo en el manejo de los lotes de peces.

El presente proyecto está siendo apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) en el año 2023 con número de referencia Proyecto de Incidencia PRONACE 321279, aprobado en la XVII sesión extraordinaria del CTA del programa de presupuestos F003, convocatoria FOP07-2022-01.

## REFERENCIAS

- Avilés-Quevedo A., Castelló-Orvay F. (2004). Manual para el cultivo de jurel. Inapesca. D.F., México. 64pp.
- Buchmann K., Bresciani J. (2006). Monogenea (Phylum Platyhelminthes). Fish Diseases and Disorders. II Edition. P T K Woo (Ed.). Wallingford United Kingdom CABI Publishing 1: 297-344.

- Cruz-Lacierda E.R., Pineda A.J., Nagasawa K. (2012). In vivo treatment of the gill monogenean *Pseudorhabdosynchus lantauensis* (Monogenea, Diplectanidae) on orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) cultured in the Philippines. *AACL Bioflux*, 5: 330-336.
- Fujita S., Yoda M., Tamagawa M., Yogata T. (1969). Control of an ectoparasite trematode, *Microcotyle tai*, on the cultured red sea bream. *Fish Pathology*, 3(53-56): 53-364. (en japonés)
- Isshiki T., Tochino M., Nagano T. (2003). Treatments of *Neoheterobothrium* infection in Japanese flounder by 8% NaCl-supplemented Seawater Bathing. *Aquaculture Science*, 51(3): 363-364.
- Noga E. J. (2010). *Fish Disease: Diagnosis and Treatment*. John Wiley & Sons. 519pp.
- Schelkle B., Doetjes R., Cable J. (2011). The salt myth revealed: Treatment of gyrodactylid infections on ornamental guppies, *Poecilia reticulata*. *Aquaculture*, 311(1-4):74-79.
- Treves-Brown K. M. (2000). *Applied Fish Pharmacology*. Kluwer. The Netherlands. 309pp.
- Whittington I. (2005). Monogenea Monopisthocotylea (ectoparasitic flukes) In *Marine Parasitology*. R Klaus (Ed.). CSIRO Publishing 1: 63-71.
- Yoshinaga T., Kamaishi T., Segawa I., Yamamoto E. (2000). Effects of NaCl-supplemented sea-water on the Monogenean, *Neoheterobothrium hirame*, infecting the japanese flounder. *Fish Pathology*, 35:97-98.

# Efecto del probiótico *Vibrio lentus* en el sistema inmune y metabolismo de la lubina *Dicentrarchus labrax*

## Effect of the probiotic *Vibrio lentus* on the immune system and metabolism of sea bass *Dicentrarchus labrax*

Rocío Valderrama Cortés<sup>1</sup>, Miguel Torres Rodríguez<sup>1</sup>,  
Iria Folgueira López<sup>2</sup>, Jose F. Cabello Gómez<sup>2</sup>,  
Raquel Liébana García<sup>3</sup>, Elisabete Bilbao Duque<sup>3</sup>,  
Juan Antonio Martos Sitcha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biología, INMAR, CEIMAR, Universidad de Cádiz. España

<sup>2</sup> CTAQUA (Centro Tecnológico de la Acuicultura de Andalucía). España

<sup>3</sup> AZTI, Marine Research Division, Basque Research Technology Alliance (BRTA), Sukarrieta, España

Correspondencia Rocío Valderrama Cortés    
rociovalderramacortes@gmail.com

Palabras clave |  
lubina,  
metabolismo,  
probiótico,  
*Tenacibaculum*  
*maritimum*,  
*Vibrio lentus*.

**RESUMEN** | La aparición de enfermedades en acuicultura supone uno de los mayores desafíos del sector. Ligado a ello, surge el desarrollo y uso de probióticos incluidos en la dieta, posicionándose como una estrategia de prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas, así como de mejora del bienestar animal. En base a esto, el objetivo de este ensayo es la evaluación de la inclusión dietaria del probiótico *Vibrio lentus* en la mejora del sistema inmunitario de juveniles de lubina. Además, se evaluaron los efectos de la dieta planteada en parámetros de rendimiento productivo y el efecto de la dieta sobre el estado metabólico asociado. Para lograr esto se distinguieron 2 grupos de peces, siendo alimentados con una dieta control y otra suplementada con el probiótico al 0,1%. Para evaluar los parámetros de rendimiento productivo durante la prueba nutricional, todos los individuos fueron pesados.



Además, se tomaron muestras a tiempos inicial y final de mucus y plasma. El análisis de los resultados evidenció la existencia de diferencias significativas en la ganancia de peso y la tasa específica de crecimiento, con una ganancia de peso un 8% mayor del grupo control con respecto a aquellos peces alimentados con la dieta probiótica. Posteriormente, se realizó un análisis del sistema inmunitario innato, obteniéndose diferencias significativas en la actividad anti-proteasa con una mayor actividad de esta en el grupo probiótico, sin afectar significativamente al resto de parámetros analizados. Además, se llevó a cabo una prueba de sanidad animal contra *Tenacibaculum maritimum* donde se obtuvo un mayor porcentaje de supervivencia para el grupo probiótico. Finalmente se evaluó el metabolismo intermedio tras el ensayo de infección, cuyos resultados mostraron un aumento en los parámetros analizados en plasma para el grupo probiótico y una disminución en mucus para el mismo, sugiriendo una mayor eficiencia energética a nivel interno del animal.

Keywords |  
metabolism,  
probiotic,  
sea bass,  
*Tenacibaculum  
maritimum*,  
*Vibrio lentus*.

**ABSTRACT** | The emergence of diseases in aquaculture represents one of the major challenges in the sector. In connection with this, the development and use of probiotics included in the diet have emerged as a preventive and therapeutic strategy for infectious diseases, as well as for improving animal welfare. Based on this, this study aims to evaluate the dietary inclusion of the probiotic *Vibrio lentus* in enhancing the immune system of juvenile sea bass. Additionally, the effects of the proposed diet on productive performance parameters and the associated metabolic state were evaluated. To achieve this, 2 groups of fish were distinguished, being fed with a control diet and another supplemented with the probiotic at 0.1%. To assess productive performance parameters during the nutritional trial, all individuals were weighed. In addition, samples of mucus and plasma were taken at the initial and final times. The analysis of the results revealed significant differences in weight gain and specific growth rate, with an 8% higher weight gain in the control group compared to those fish fed the probiotic diet. Subsequently, an analysis of the innate immune system was conducted, showing significant differences in anti-protease activity with higher activity in the probiotic group, without significantly affecting the other

affecting analyzed parameters. Furthermore, an animal health test was conducted against *Tenacibaculum maritimum*, where a higher survival percentage was obtained for the probiotic group. Finally, intermediate metabolism was evaluated after the infection trial, and the results showed an increase in the analyzed parameters in plasma for the probiotic group and a decrease in mucus for the same, suggesting greater energy efficiency at the internal level of the animal.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la acuicultura se presenta como una actividad productiva de gran importancia para la producción, innovación, emprendimiento y aprovechamiento sostenible de los recursos acuáticos (APROMAR, 2020). Sin embargo, a pesar de los importantes avances, son varios los problemas que limitan la expansión de la acuicultura convencional, como pueden ser la escasez de espacio, la poca disponibilidad de agua dulce, la contaminación, etc. Para mitigar estas limitaciones, se ha avanzado en el desarrollo de Sistemas Acuícolas de Recirculación (RAS), cuya implantación pretende buscar unas condiciones de cultivo más sostenibles.

Por otra parte, la acuicultura supone una de las principales fuentes de obtención de alimento para el ser humano, siendo necesaria la implementación de nuevas estrategias más eficientes y sostenibles de producción acuícola relacionadas de forma directa con la gestión integral de la sanidad y el bienestar animal (Costello et al., 2020).

Una de las grandes problemáticas a las que se enfrenta el sector acuícola es la aparición de enfermedades de origen infeccioso, como puede ser la tenacibaculosis, una enfermedad causada por el agente infeccioso *Tenacibaculum maritimum*. Se trata de una bacteria filamentosa Gram-negativa cuya enfermedad causa lesiones visibles en la superficie del cuerpo de los peces como úlceras, boca erosionada, aletas deshilachadas, necrosis, etc., suponiendo grandes pérdidas económicas ante su aparición, limitando el cultivo de muchas especies de alto valor comercial en distintas áreas geográficas (Toranzo et al.,

2005; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006). Para prevenir la aparición de problemas sanitarios y los efectos negativos asociados a la prevalencia de agentes infecciosos en el sector acuícola son múltiples los esfuerzos científico-técnicos ligados al desarrollo de vacunas específicas para los agentes infecciosos más frecuentes, que trata de complementarse con la administración de compuestos inmunoestimulantes a través de baño, inyección, vía oral o incluyéndose en la dieta (Fernández-Díaz *et al.*, 2017), con el objetivo de mejorar el sistema inmunitario de los animales de cultivo.

En relación con la mejora del sistema inmune de los animales cultivados, cada vez son más los esfuerzos y recursos destinados al desarrollo y el uso de probióticos como herramienta de prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas, así como de mejora del bienestar animal. Estos probióticos en acuicultura se encuentran definidos como “organismos vivos, muertos o componentes de una célula microbiana que se administran a través del alimento o agua de cría y que beneficia al huésped mejorando la resistencia a enfermedades, el estado de salud, el rendimiento del crecimiento, la utilización del alimento, la respuesta al estrés o el vigor general, lo que se consigue, al menos en parte, mediante la mejora del equilibrio microbiano del huésped o del equilibrio microbiano del entorno” (Merrifield *et al.*, 2010). En este estudio, se empleó como probiótico la bacteria Gram-negativa *Vibrio lentus*, que se aisló por primera vez de las ostras mediterráneas (Macián *et al.*, 2001). Concretamente la cepa empleada en este proyecto fue la cepa *V. lentus* 618, proporcionada por AZTI (Centro de Ciencia y Tecnología Marina y Alimentaria, País Vasco), cuyo código es VLE001.

El género *Vibrio* pertenece a bacterias productoras de ácidos grasos poliinsaturados omega-3, y a partir del mismo pueden transmitirse estos valiosos ácidos grasos al resto de la cadena alimentaria. *V. lentus* en particular presentó una elevada producción de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) con respecto a otras bacterias pertenecientes al género *Vibrio* (Estupiñán *et al.*, 2020). Además, se ha descrito su potencialidad como probiótico en la especie objetivo de este trabajo (*Dicentrarchus labrax*) en diferentes estudios, en los que se observó su importante efecto como reductor de glucocorticoides en larvas (Aerts *et al.*, 2018), su relación con la proliferación y la muerte celular, el metabolismo de las especies reactivas de oxígeno, el transporte de hierro y la respuesta del sistema inmune, además de su efecto protector en larvas gnotobióticas de lubina ante el

patógeno *Vibrio harveyi* (Schaeck et al., 2016).

En base a todo esto, el objetivo general de este trabajo fue evaluar la inclusión del probiótico *V. lentus* en la dieta de juveniles de lubina para comprobar su efecto en el estado general de salud del pez. Éste se complementó a partir del desarrollo de cuatro objetivos específicos, en los que se trató de evaluar el efecto de la dieta sobre i) parámetros de rendimiento productivo, ii) el sistema inmunitario innato, iii) la respuesta de la especie tras su infección con *T. maritimum* y iv) el estado metabólico de los individuos tras el proceso de infección.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar, se realizó una prueba nutricional en la que se llevó a cabo un ensayo de alimentación y crecimiento durante las primeras 6 semanas, y posteriormente se realizó un análisis del sistema inmunitario innato para el que se tomaron muestras a tiempo inicial (semana 1) y tiempo final (semanas 8 y 9). Tras ello, se llevó a cabo una prueba de sanidad animal, donde se determinó la dosis de *T. maritimum* (semanas 3 y 4) para, seguidamente llevar a cabo un ensayo de infección con este patógeno. Finalmente se tomaron muestras de mucus y plasma de peces infectados y no infectados en la semana 12 para realizar el análisis metabólico.

### Prueba nutricional

#### Ensayo de alimentación y crecimiento

Este ensayo se llevó a cabo en un sistema RAS compuesto de 15 tanques de 400 L. Para este estudio se tuvieron 2 grupos experimentales, el grupo control y el grupo probiótico, teniendo un total de 6 réplicas de cada grupo. En cada tanque se incluyeron 50 peces con un peso medio de 5,04 g. Por su parte, también se tuvieron 3 tanques con peces extra tratados de la misma forma que los grupos experimentales. Todos estos peces fueron suministrados por CULMAREX (Mallorca) y recepcionados por CTAQUA, estando un total de 7 días en aclimatación para su adaptación a las instalaciones antes de usarlos para la prueba.

Durante 6 semanas se llevó un control de la cantidad de alimento suministrado a los grupos experimentales. La composición de la dieta fue la misma para ambos grupos, con la única diferencia de la inclusión de *V. lentus* en un 0.1% en el pienso del grupo probiótico. Además, se pesaron ambos grupos a tiempo inicial (semana 1) y final (semana 7). Con esta información se calcularon los parámetros de rendimiento productivo, que fueron el porcentaje de supervivencia, la ganancia de peso, la tasa específica de crecimiento y el factor de conversión del alimento (FCR).

### Análisis del sistema inmunitario innato

Para realizar el análisis del sistema inmunitario innato se emplearon 2 métodos en función al parámetro analizado. En el caso de las Especies Reactivas de Oxígeno (ROS), actividad lisozima y proteínas totales se empleó un método colorimétrico, donde en una microplaca transparente se añadieron por triplicado una recta patrón y las muestras de mucus (36 muestras) o plasma (12 muestras) con el correspondiente compuesto en cada caso y tras un periodo de incubación determinado para cada parámetro se realizaron lecturas de absorbancia. Esta información queda detallada en la Tabla 1.

Tabla 1. Compuestos empleados para el análisis colorimétrico de especies reactivas de oxígeno (ROS), actividad lisozima y proteínas totales.

	Recta patrón	Compuesto	ABS (nm)	Tipo de muestra
ROS	Hank's Balanced Salt Solution (HBSS)	Nitro Azul de Tetrazolio (NBT)	620	Plasma
Actividad lisozima	Lisozima + Reaction Buffer	Suspensión celular de <i>Micrococcus lysodeikticus</i>	450	Mucus y plasma
Proteínas totales	Seroalbúmina bovina (BSA)	Reactivo Bradford	595	Mucus

En el caso de la actividad proteasa y anti-proteasa se empleó un método fluorimétrico, en el que en una microplaca opaca se incluyeron por triplicado: para la proteasa una recta patrón (*Assay Buffer* (TBS)) y muestras de mucus con el reactivo *FTC-Casein Working Reagent*, y para la anti-proteasa se añadió tripsina a

la solución tampón (TBS) y a las muestras de mucus, para posteriormente suministrar el reactivo mencionado. Tras un tiempo determinado de incubación se midieron las lecturas de fluorescencia a 485 y 538 nm.

## Prueba de sanidad animal

### Determinación de la dosis de *Tenacibaculum maritimum*

Esta prueba se llevó a cabo con los peces extra con el fin de buscar la DL<sub>60</sub>, es decir, una dosis que cause aproximadamente el 60% de mortalidad. La infección se realizó por baño, empleando para ello 12 cubos de 5 L provistos de líneas de aireación, en los que se probaron 3 dosis:  $5 \cdot 10^5$ ,  $5 \cdot 10^4$  y  $5 \cdot 10^3$  unidades formadoras de colonias (cfu)/mL.

Para ello, se emplearon 10 individuos por tanque (~9 g). Se expusieron al patógeno una hora antes de trasladarlos a unos acuarios para realizar el seguimiento de mortalidad. Tras este ensayo se determinó que la dosis adecuada era de  $5 \cdot 10^4$  cfu/mL, que causó un 75% de mortalidad.

### Ensayo de infección con *Tenacibaculum maritimum*

En este caso se realizó el ensayo con los grupos experimentales control y probiótico. La infección se introdujo por baño, empleando 6 cubos de 5 L provistos de líneas de oxígeno, disponiendo de 3 réplicas de cada grupo.

Se infectaron 20 individuos por cubo (~17,98 g), que fueron expuestos a *T. maritimum* durante una hora antes de ser devueltos a los tanques de cultivo, donde se llevó un control de la mortalidad. Debido al aumento del peso medio de los peces desde la determinación de la dosis hasta el ensayo de infección, se tuvieron que reajustar las dosis del patógeno, lo que llevó a realizar 3 ensayos de infección con 3 concentraciones diferentes:  $7,5 \cdot 10^4$ ,  $1 \cdot 10^6$  y  $5 \cdot 10^5$  cfu/mL.

### Análisis metabólico post-infección

Una vez finalizado el ensayo de infección se tomaron muestras de mucus y plasma de peces que fueron infectados y aquellos no infectados, distinguiendo 4

grupos:

- No infección / No probiótico (NO\_IN/NO\_P)
- No infección / Sí probiótico (NO\_IN / SI\_P)
- Sí infección / No probiótico (SI\_IN/NO\_P)
- Sí infección / Sí probiótico (SI\_IN/SI\_P)

En el caso de los parámetros metabólicos analizados en cada muestra de plasma y mucus se usaron kits comerciales de la marca SpinReact (SpinReact SA, Sant Esteve d'en Bas, Girona, España), adaptando las mediciones a microplacas de 96 pocillos (muestras por duplicado). Estos análisis incluyeron los niveles de glucosa (Glucose-HK Ref. 1001200), lactato (Lactate Ref. 1001330), triglicéridos (TAG Ref. 1001311) y colesterol (Cholesterol-LQ Ref. 41021). Para la medición de proteínas plasmáticas, se utilizó el método del ácido bicinonímico con el kit comercial BCA (BCA™ Protein assay kit, Pierce, Rockford, EE.UU.). Todos estos parámetros se midieron en plasma, mientras que en mucus solo se midieron la glucosa y las proteínas totales.

## RESULTADOS

### Prueba nutricional

#### *Ensayo de alimentación y crecimiento*

Los resultados obtenidos de los parámetros de rendimiento productivo se muestran en la Figura 1, representadas como promedio  $\pm$  error estándar.

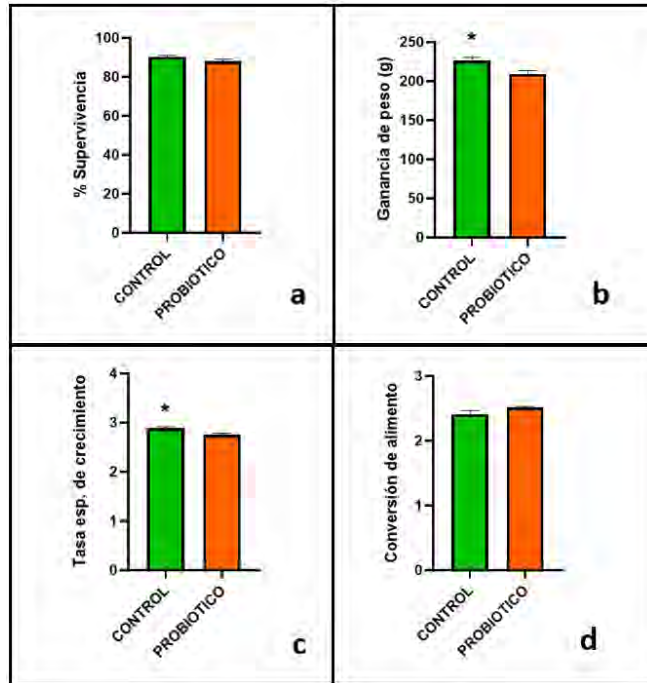


Figura 1. Parámetros de rendimiento productivo entre los grupos control y probiótico. a. % Supervivencia; b. Ganancia de peso en gramos; c. Tasa específica de crecimiento; d. Conversión del alimento. El asterisco (\*) representa diferencias estadísticamente significativas entre grupos experimentales.

Puede observarse que ambos grupos no presentan diferencias significativas en cuanto a supervivencia (Figura 1.a) y conversión del alimento (Figura 1.d) durante la prueba nutricional, aunque existe un aumento significativo de la ganancia en peso (Figura 1.b) y en la tasa específica de crecimiento (Figura 1.c) en el grupo control respecto al grupo probiótico.

### Análisis del sistema inmunitario innato

Para el análisis del sistema inmunitario innato se distinguieron 3 grupos:

- Lote de peces a tiempo inicial (L\_t0)
- Control a tiempo final (C\_tf)
- Probiótico a tiempo final (P\_tf)



Estos análisis se realizaron en plasma y/o mucus, cuyos resultados pueden visualizarse gráficamente como promedio  $\pm$  error estándar en las figuras 2 y 3.

- En plasma

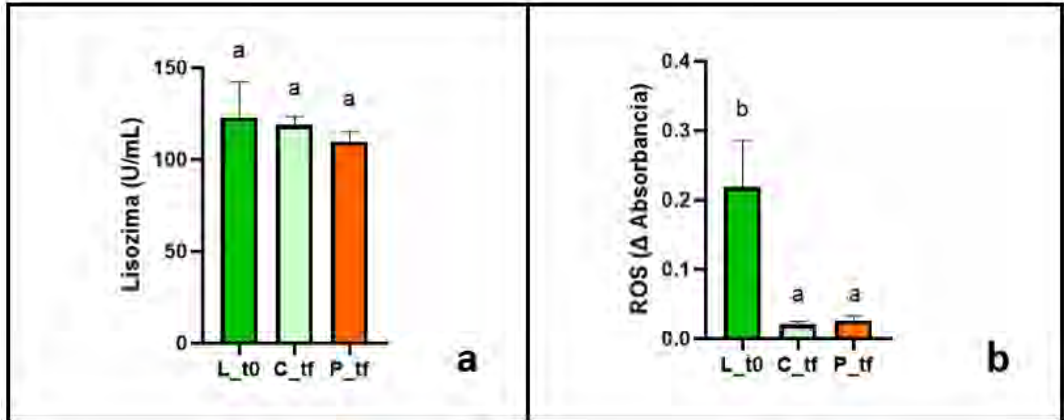


Figura 2. Análisis en plasma de: a. Actividad Lisozima (U/mL) y b. Especies reactivas de oxígeno (ROS) (Incremento de absorbancia) a tiempo inicial del lote (L\_t0) y tiempo final (tf) para los grupos control (C) y probiótico (P).

Teniendo en cuenta los resultados de la Figura 2.a, no se observaron diferencias significativas en cuanto a la actividad lisozima entre grupos; sin embargo, en la Figura 2.b sí se apreciaron diferencias significativas en cuanto a ROS del grupo L\_t0 respecto a los demás grupos. Sin embargo, C\_tf y P\_tf no mostraron diferencias entre sí.

- En mucus

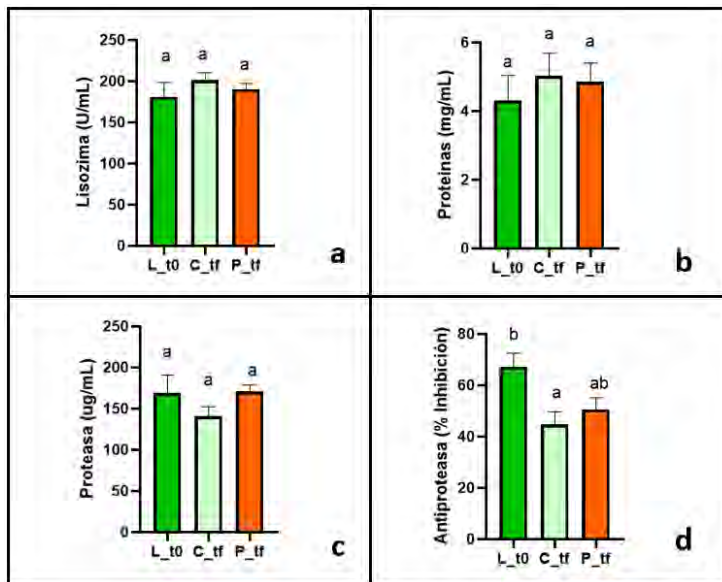


Figura 3. Análisis en mucus de: a. Actividad lisozima (U/mL), b. Proteínas totales (mg/mL), c. Actividad proteasa (ug/mL) y d. Actividad antiproteasa (% de inhibición) a tiempo inicial del lote (L\_t0) y tiempo final (tf) para los grupos control (C) y probiótico (P).

A la vista de los resultados de la Figura 3, se observa que solamente en la actividad antiproteasa se han encontrado diferencias significativas entre los grupos control a tiempo final (C\_tf) y el lote a tiempo inicial (L\_t0) donde la actividad anti-proteasa es significativamente mayor respecto al grupo C\_tf (Figura 3.d). Por otra parte, no se han encontrado diferencias significativas entre los grupos L\_t0 y P\_tf, ni entre los grupos C\_tf y P\_tf.

### Prueba de sanidad animal

### Ensayo de infección

Como se comenta con anterioridad, se realizaron 3 ensayos de infección. En el primer ensayo no se observaron diferencias puesto que la DL del grupo control fue muy baja para el tamaño que presentaban los peces, y apenas hubo mortalidad. El segundo ensayo se realizó con una dosis de  $1 \cdot 10^6$  cfu/mL de *T.maritimum* y los resultados quedan recogidos en la Figura 4.

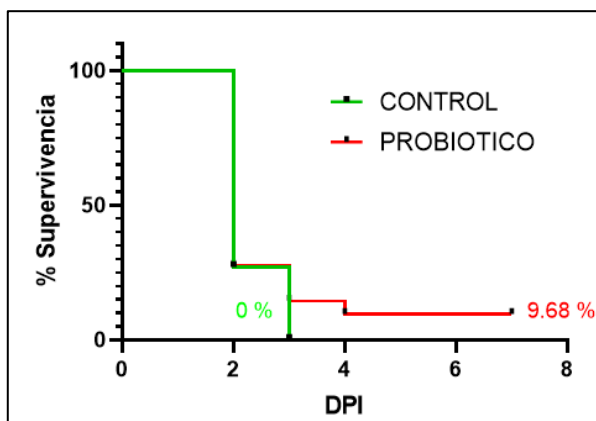


Figura 4. Evolución del ensayo de infección con una dosis de  $1 \cdot 10^6$  cfu/mL de *T. maritimum* expresados en porcentaje de supervivencia de los grupos control y probiótico. DPI: Días post infección.

Como se puede observar en esta figura, hubo un porcentaje de supervivencia del grupo probiótico de 9,68%, mientras que del grupo control no sobrevivió ningún individuo, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos.

El tercer ensayo se realizó con una dosis de  $5 \cdot 10^5$  cfu/mL de *T. maritimum*, y la evolución del proceso de infección queda recogida en la Figura 5.

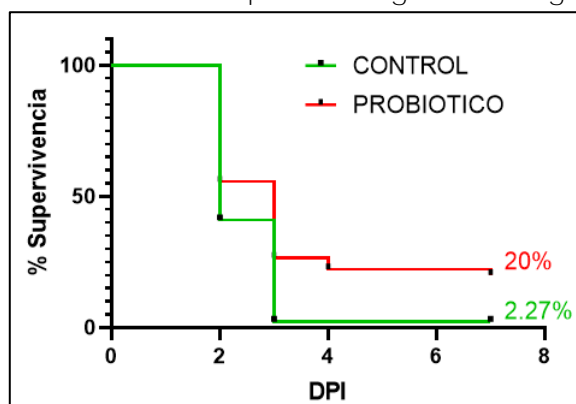


Figura 5. Evolución del ensayo de infección con una dosis de  $5 \cdot 10^5$  cfu/mL de *T. maritimum* expresados en porcentaje de supervivencia de los grupos control y probiótico. DPI: Días post infección.

En este caso no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, pero el porcentaje de supervivencia del grupo probiótico fue mayor (20%) que el del grupo control (2,27%).

### Análisis metabólico post-infección

Los resultados del análisis metabólico quedan representados gráficamente en las figuras 6 (en plasma) y 7 (en mucus) como promedio  $\pm$  error estándar.

- En plasma

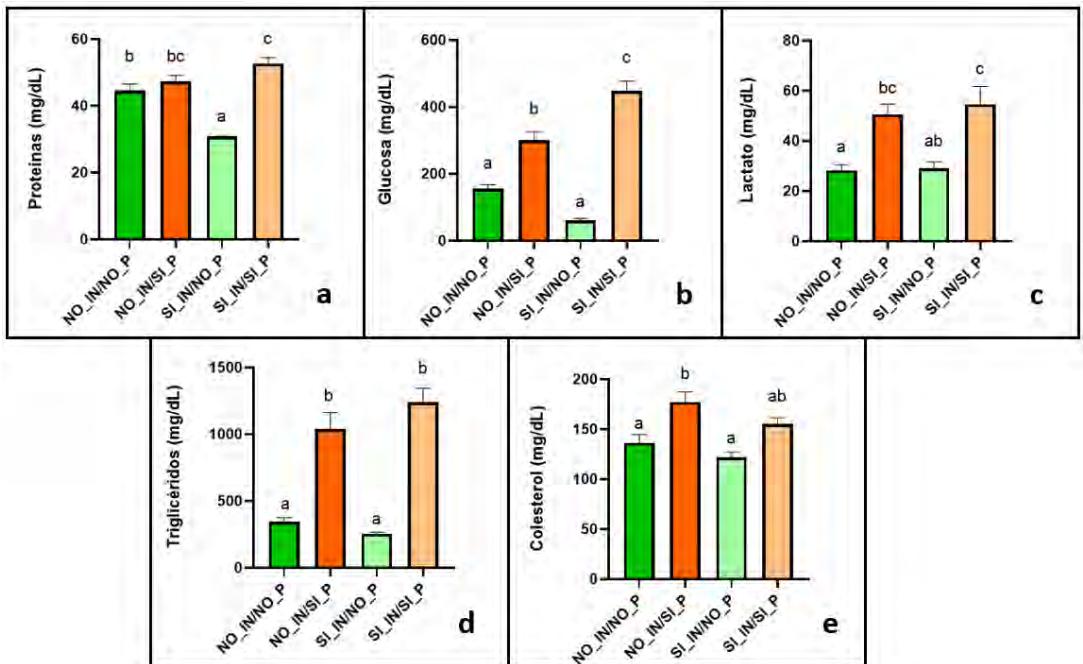


Figura 6. Análisis en plasma de: a. Proteínas totales (mg/dL), b. Glucosa (mg/dL), c. Lactato (mg/dL), d. Triglicéridos (mg/dL) y e. Colesterol (mg/dL) para los grupos No infección (NO\_IN) y Si infección (SI\_IN) con (SI\_P) y sin probiótico (NO\_P).

A la vista de la Figura 6 se puede observar que a nivel plasmático los parámetros analizados son estadísticamente mayores para los grupos probiótico (SI\_P) respecto a los grupos control (NO\_P) en la mayoría de los casos, siendo esta diferencia más pronunciada en el caso de los grupos infectados (SI\_IN).

- En mucus

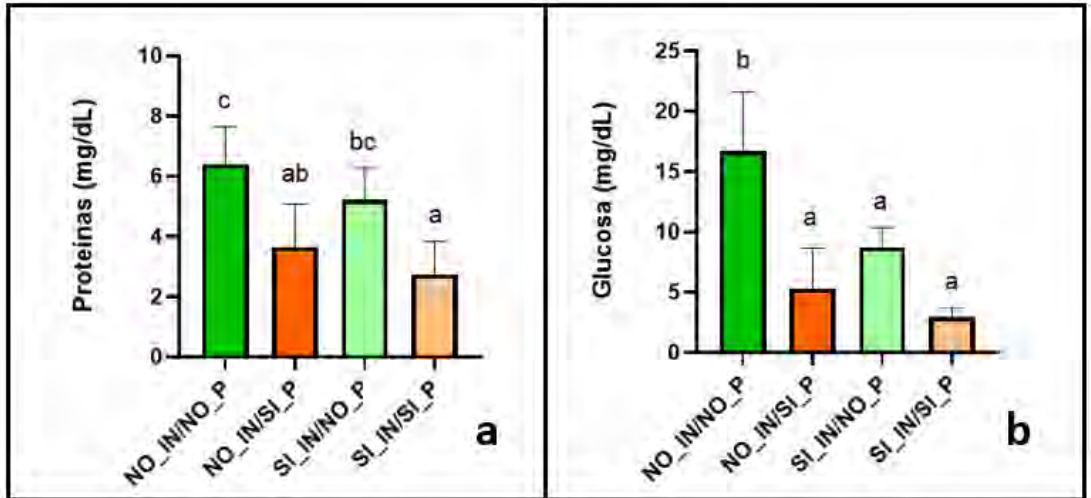


Figura 7. Análisis en plasma de: a. Proteínas totales (mg/dL) y b. Glucosa (mg/dL) para los grupos No infección (NO\_IN) y Si infección (SI\_IN) con (SI\_P) y sin probiótico (NO\_P).

Al analizar proteínas y glucosa en mucus (Figura 7) se observó que mostraron un patrón inverso al obtenido en plasma, siendo menores las concentraciones de estos parámetros en los grupos probióticos respecto a los grupos control.

## DISCUSIÓN

Prueba nutricional

Ensayo de alimentación y crecimiento

Según los resultados que se muestran en la figura 1, el porcentaje de supervivencia y el FCR no mostraron diferencias significativas entre grupos. No obstante sí que se aprecian diferencias significativas en cuanto a la ganancia de peso y la tasa específica de crecimiento, donde se observó una mayor ganancia de peso en el grupo control. Contrariamente, diferentes estudios (Bahi et al., 2017; Newaj-Fyzul et al., 2014) sustentan que el uso de probióticos mejora la conversión alimentaria y aumenta el apetito de los peces cultivados. En base a los resultados

obtenidos, y en consonancia con Varela et al (2010), se sugiere que *V. lentus* podría estar afectando negativamente a la palatabilidad del alimento, llevando a una menor ingesta por parte del grupo probiótico. Debido al bajo número de estudios que contrasten los beneficios y perjuicios que pueden causar el uso de distintos probióticos en determinadas especies acuícolas, resulta interesante llevar a cabo nuevos estudios nutricionales que evidencien la conveniencia del uso de probióticos en diversas especies de interés para su producción en acuicultura.

### Análisis del sistema inmunitario innato

La lisozima es una enzima capaz de dañar las células bacterianas a través de la ruptura de peptidoglicanos. La gran actividad lítica ante bacterias Gram-positivas y negativas hace que la actividad lisozima sea un índice de gran importancia de la inmunidad innata en peces, además de presentar una naturaleza opsonica y ser capaces de activar el sistema complemento y a los fagocitos (Saurabh y Sahoo, 2008). Según se aprecia en las figuras 2.a y 3.a, la actividad lisozima no ha mostrado diferencias significativas ni en plasma ni en mucus, por lo que se puede interpretar que la inclusión de *V. lentus* en la dieta no ha influido en este parámetro. Lo mismo ocurre en el caso de las proteínas en mucus (figura 3.b), que son componentes importantes de todas las células y tejidos, y tiene una gran importancia para el crecimiento, desarrollo y salud del pez, ya que un incremento en la cantidad de proteínas totales podría ser un indicativo del aumento de la cantidad de proteínas asociadas al sistema inmune (Harikrishnan et al., 2011; Sirimanapong et al., 2015).

Por su parte, las especies reactivas de oxígeno (ROS) se producen a partir de procesos de fagocitosis en macrófagos, siendo altamente nocivos para los patógenos ayudando a eliminarlos. Un exceso de ROS podría dar lugar a procesos de estrés oxidativo, siendo también dañino para el propio organismo, es por esto que, para contrarrestarlos, se producen una serie de enzimas antioxidantes que protegen al individuo del estrés oxidativo (Messaoudi et al., 2009; Abarike et al., 2018). En base a esto, se realizaron estudios para comprobar el efecto del uso de probióticos para la producción de enzimas oxidativas, así lo mencionan Li et al. (2012) e Hindu et al. (2018) en el caso de especies de *Bacillus* como probiótico para suprimir los radicales libres de forma eficiente, modulando la actividad antioxidante. En cuanto a los resultados obtenidos en plasma (figura 2.b), se

observaron diferencias significativas, habiendo una disminución de ROS en C\_tf y P\_tf respecto a L\_t0, lo que podría deberse a la ausencia de patógenos durante el cultivo, es decir, al no producirse demasiada actividad fagocítica, no se produce una gran cantidad de ROS. Sin embargo, entre los grupos C\_tf y P\_tf no hubo diferencias significativas, por lo que se entiende que el probiótico no influyó en la producción de ROS.

Las proteasas por su parte son capaces de degradar las proteínas de los patógenos, obstaculizando su colonización y avance en el organismo. En este caso no se encontraron diferencias significativas entre grupos en mucus (figura 3.c), aunque se aprecia una mayor actividad proteasa en el grupo probiótico, lo que podría indicar una mayor protección frente a una posible infección.

A su vez, las anti-proteasas son enzimas que neutralizan las proteasas que los patógenos utilizan para la invasión (Kuebutornye *et al.*, 2019; Sattanathan *et al.*, 2020; Sirimanapong *et al.*, 2015). En este caso sí se encontraron diferencias significativas entre L\_t0 y C\_tf, siendo mayor la actividad anti-proteasa en L\_t0. Sin embargo, no hay diferencias significativas entre L\_t0 y P\_tf, lo que indica que la suplementación con *V. lentus* es beneficiosa para incrementar la actividad anti-proteasa.

## Prueba de sanidad animal

### Ensayo de infección con *T. maritimum*

En base a los resultados obtenidos del ensayo de infección (figuras 4 y 5), donde se ha observado un mayor porcentaje de supervivencia por parte del grupo probiótico, queda manifiesta el efecto protector de *V. lentus* ante una infección con *T. maritimum* en juveniles de lubina. Este mismo probiótico se empleó para un ensayo de infección en el estudio de Schaeck *et al.* (2016), donde se expusieron a larvas de lubina adicionadas con *V. lentus* al patógeno *Vibrio harveyi*, constatándose una total protección frente a este agente infeccioso.

## Análisis metabólico post-infección

Respecto a los resultados de las proteínas plasmáticas (figura 6.a), en las que se aprecian diferencias significativas en los grupos infectados, siendo mayor la cantidad de proteínas en el grupo probiótico, podría estar indicando que ante la invasión de un patógeno en el grupo control los glúcidos y lípidos no son capaces de contrarrestar el estrés por infección y por tanto deben recurrir a la movilización de proteínas. Sin embargo, en mucus (figura 7.a), existen diferencias significativas tanto en los grupos infectados como no infectados, con una disminución de proteínas en el grupo probiótico en ambos casos. Se sugiere la hipótesis de que a nivel interno el animal se encuentra más protegido y no necesita emplear proteínas constitutivas en generar una primera barrera protectora demasiado resistente.

Otro metabolito importante a nivel fisiológico es la glucosa, que actúa como fuente principal de energía en el metabolismo celular. Esta puede aportarse al organismo a través de i) la alimentación, ii) procesos de glucogenólisis y/o iii) la estimulación de los procesos de gluconeogénesis, originando nueva glucosa en el hígado y almacenándose en forma de glucógeno (Jiang y Zhang, 2003; Agudelo *et al.*, 2012). En este caso, a nivel plasmático se encontraron diferencias significativas tanto para los grupos infectados como no infectados, con un aumento de glucosa en los grupos probiótico (figura 6.b). Así, se puede indicar que el probiótico ha tenido resultados positivos en la gestión de glucosa sin afectar a su biodisponibilidad, o que está estimulando el sistema inmunitario innato, produciendo un mayor gasto energético antes del reto y cuando aparece el mismo es más eficiente metabólicamente. En mucus (figura 7.b), se aprecian diferencias significativas en los grupos no infectados, pero presentan un patrón inverso al plasma, lo que podría indicar que la glucosa puede no estar siendo liberada en exceso para así mantenerla a nivel plasmático con el fin de llevarla a cualquier tejido que lo requiera como fuente metabólica, por ejemplo, para obtener un mayor crecimiento.

Respecto al lactato, se forma en el músculo blanco del pez, y surge de la glucólisis anaerobia, cuando las demandas de energía son superiores al aporte de oxígeno, pero su formación no es necesaria cuando el organismo dispone de otros metabolitos como la glucosa o los ácidos grasos (Vásquez *et al.*, 2015; Melkonian



y Schury, 2019). Según muestran nuestros resultados, existen diferencias significativas tanto en los grupos infectados como no infectados, siendo mayor la cantidad de lactato en el grupo probiótico. Algunos estudios otorgan este aumento de lactato al estrés (García-Rejón y Morales, 1989, a, b), lo que se corroboraría con el correspondiente aumento de glucosa plasmática en el grupo probiótico y la menor ingesta de alimento por parte del mismo.

Los triglicéridos (TAG) son la principal fuente de almacenamiento de lípidos (Ahmadian *et al.*, 2007). Según se aprecia en la figura 6.d, hay diferencias significativas tanto en los grupos infectados como no infectados, siendo mayor la cantidad de TAG en los grupos probiótico, lo que podría indicar una preferencia del organismo por emplear carbohidratos como fuente de energía y tener los lípidos almacenados como reserva energética en el hígado.

El colesterol (figura 6.e) por su parte es un metabolito esencial que se encarga de funciones estructurales y metabólicas vitales (Maldonado *et al.*, 2012). Se encontraron diferencias significativas en los grupos no infectados, siendo mayor la cantidad de colesterol en el grupo probiótico, lo que podría indicar que el colesterol en este grupo puede encontrarse a disposición de los procesos fisiológicos que lo requieran (e.g. inmuoestimulación).

En base a todo esto, generalmente se ha observado en el grupo probiótico que los parámetros analizados son mayores en plasma y menores en mucus respecto al grupo control, lo que podría indicar que *V. lentus* brinda una mayor eficiencia energética a nivel interno del animal.

## CONCLUSIONES

La inclusión de *V. lentus* a la dieta ha dado lugar a una ganancia de peso ligeramente inferior al grupo control, factor que se debe tener en cuenta a nivel de producción.

El probiótico resulta beneficioso en cuanto al incremento de la actividad anti-proteasa, sin verse significativamente afectados el resto de parámetros analizados del sistema inmunitario innato.

La suplementación con *V. lentus* ha mejorado el porcentaje de supervivencia de los peces ante el desafío contra *T. maritimum*.

La inclusión dietaria de *V. lentus* permite una mayor eficiencia energética a nivel interno del animal en cuanto a metabolismo intermedio se refiere.

Finalmente, como conclusión general, la inclusión de *V. lentus* como probiótico en la dieta de juveniles de *D. labrax* supone un beneficio para el estado general de salud del pez, brindando una mayor protección ante posibles agentes patógenos.

## Agradecimientos

El trabajo descrito se ha llevado a cabo en el marco del proyecto FISHEALTH financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) en la convocatoria Cervera para centros de excelencia. Miguel Torres agradece a las Ayudas Margarita Salas (UPV) financiadas por la Unión Europea-Next Generation.

## REFERENCIAS

- Abarike, E. D., Jian, J., Tang, J., Cai, J., Yu, H., Lihua, C., & Jun, L. (2018). Influence of traditional Chinese medicine and Bacillus species (TCMBS) on growth, immune response and disease resistance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Aquacult. Res.* 49, 2366–2375.
- Aerts, J., Schaeck, M., De Swaef, E., Ampe, B., & Decostere, A. (2018). "Vibrio lentus as a probiotic candidate lowers glucocorticoid levels in gnotobiotic sea bass larvae". *Aquaculture*, 492, 40-45.
- Agudelo D., Lugo E. & Riveros N. (2012). Cuantificación de glucosa y cortisol como indicador de estrés en la especie (*Brycon siebenthalae*) "yamu" mediante la utilización de tranquilización y anestesia en el municipio de Cumaral meta. Universidad Nacional de Colombia. Corporación educativa nacional C.E.N. 47 p.

- Ahmadian, M., Duncan, R. E., Jaworski, K., Sarkadi-Nagy, E., & Sook Sul, H. (2007). "Triacylglycerol metabolism in adipose tissue". *Future lipidology*, 2(2), 229-237.
- APROMAR (2020). *La Acuicultura en España 2020*.
- Avendaño-Herrera, R., Toranzo, A. E., & Magariños, B. (2006). "Tenacibaculosis infection in marine fish caused by *Tenacibaculum maritimum*: a review. *Diseases of aquatic organisms*", 71(3), 255-266.
- Bahi, A., Guardiola, F. A., Messina, C. M., Mahdhi, A., Cerezuela, R., Santulli, A., ... & Esteban, M. A. (2017). "Effects of dietary administration of fenugreek seeds, alone or in combination with probiotics, on growth performance parameters, humoral 38 immune response and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.)". *Fish & shellfish immunology*, 60, 50-58.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á., Free, C. M., Froehlich, H. E., & Lubchenco, J. (2020). "The future of food from the sea. *Nature*", 588(7836), 95-100.
- Estupiñán, M., Hernández, I., Saitua, E., Bilbao, M. E., Mendibil, I., Ferrer, J., & Alonso-Sáez, L. (2020). "Novel *Vibrio* spp. strains producing omega-3 fatty acids isolated from coastal seawater". *Marine Drugs*, 18(2), 99.
- Fernández-Díaz, C., Coste, O., & Malta, E. (2017). "Polymer chitosan nanoparticles functionalized with *Ulva ohnoi* extracts boost in vitro ulvan immunostimulant effect in *Solea senegalensis* macrophages". *Algal Research*, 26, 135-142.
- García-Rejón, L., & Morales, A. E. (1989) (a). El estrés en los peces. I.-Respuestas fisiológicas. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 30(1-2), 141-148.
- García-Rejón, L., & Morales, A. E. (1989) (b). El estrés en los peces. II-Factores estresantes comunes en los peces cultivados. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 30(3-4), 279-289.

- Harikrishnan, R.; Kim, M.; Kim, J.; Balasundaram, C. & Heo, M. (2011). Protective effect of herbal and probiotics enriched diet on haematological and immunity status of *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel) against *Edwardsiella tarda*. *Fish & Shellfish Immunology*; 30(3): 886-893.
- Hindu, S.V., Thanigaivel, S., Vijayakumar, S., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A., & Thomas, J. (2018). Effect of microencapsulated probiotic *Bacillus vireti* 01-polysaccharide extract of *Gracilaria folifera* with alginate-chitosan on immunity, antioxidant activity and disease resistance of *Macrobrachium rosenbergii* against *Aeromonas hydrophila* infection, *Fish Shellfish Immunol.* 73, 112–120.
- Jiang, G., & Zhang, B. B. (2003). "Glucagon and regulation of glucose metabolism". *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 284(4), E671-E678.
- Kuebutornye, F. K. A.; Abarikea, E. D. & Lua, Y. (2019). A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. *Fish and Shellfish Immunology*, 87: 820–828.
- Li, W.F., Deng, B., Cui, Z.W., Fu, L.Q., Chen, N.N., Zhou, X.X., Shen, W.Y., & Yu, D.Y. (2012). Several indicators of immunity and antioxidant activities improved in grass carp given a diet containing bacillus additive, *J. Anim. Vet. Adv.* 11, 2392–2397.
- Macián, M. C., Ludwig, W., Aznar, R., Grimont, P. A., Schleifer, K. H., Garay, E., & Pujalte, M. J. (2001). "Vibrio lentus sp. nov., isolated from Mediterranean oysters". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51(4), 1449-1456.
- Maldonado Saavedra, O., Ramírez Sánchez, I., García Sánchez, J. R., Ceballos Reyes, G. M., & Méndez Bolaina, E. (2012). Cholesterol: Función biológica e implicaciones médicas. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 43(2), 7-22.
- Melkonian, E. A., & Schury, M. P. (2019). *Biochemistry, anaerobic glycolysis*. Europe PMC.

- Merrifield, D. L., Dimitroglou, A., Foey, A., Davies, S. J., Baker, R. T., Bøgdwald, J., & Ringø, E. (2010). "The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids". *Aquaculture*, 302(1-2), 1-18.
- Messaoudi, I., Barhoumi, S., Saïd, K., & Kerken, A. (2009). Study on the sensitivity to cadmium of marine fish *Salaria basilisca* (Pisces: Blennidae), *J. Environ. Sci.* 21, 1620–1624.
- Newaj-Fyzul, A., Al-Harbi, A.H., & Austin, B. (2014). Review: developments in the use of probiotics for disease control in aquaculture. *Aquaculture* 431, 1–11.
- Sattanathan, G., Tamizhazhagan, V., Padmapriya, S., Liu, W. & Balasubramanian, B. (2020). Effect of Green Algae *Chaetomorpha antennina* Extract on Growth, Modulate Immunity, and Defenses against *Edwardsiella tarda* Infection in *Labeo rohita*. *Animals*, 10.
- Saurabh, S., & Sahoo, P. K. (2008). Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system. *Aquaculture research*, 39(3), 223-239.
- Schaeck, M., Duchateau, L., Van den Broeck, W., Van Trappen, S., De Vos, P., Coulombet, C., Boon, N., Haesebrouck, F., & Decostere, A. (2016). *Vibrio lentus* protects gnotobiotic sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) larvae against challenge with *Vibrio harveyi*. *Vet. Microbiol.* 185, 41–48.
- Sirimanapong, W., Adams, A., Ooi, E. L., Green, D. M., Nguyen, D. K., Browdy, C. L., Collet, B., & Thompson, K. D. (2015). The effects of feeding immunostimulant  $\beta$ -glucan on the immune response of *Pangasianodon hypophthalmus*. *Fish and Shellfish Immunology*.
- Toranzo, A. E., Magariños, B., & Romalde, J. L. (2005) "A review of the main bacterial fish diseases in mariculture system". *Aquaculture* 246, 37–61.
- Varela, J. L., Ruiz-Jarabo, I., Vargas-Chacoff, L., Arijo, S., León-Rubio, J. M., García-Millán, I., ... & Mancera, J. M. (2010). "Dietary administration of probiotic Pdp11 promotes growth and improves stress tolerance to high stocking density in gilthead seabream *Sparus auratus*". *Aquaculture*, 309(1-4), 265-271.

Vásquez-Tirado, G. A., García-Tello, A. V., & Evangelista Montoya, F. E. (2015). Utilidad del lactato sérico elevado como factor pronóstico de muerte en sepsis severa. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(2), 35-40.



# Pesca y administración pesquera

# Gestión pesquera basada en ecosistemas para el *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) en Ecuador: un camino hacia la sostenibilidad

## Ecosystem-Based Fisheries Management for *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) in Ecuador: A Path Towards Sustainability

Milton Gabriel Montúfar-Romero<sup>1-3</sup>, Lenin Cáceres-Farías<sup>4-6</sup>, Sergio Neria<sup>2,7,8</sup>, Maía Mercedes Espinoza-Vera<sup>4,5</sup>, Carlos Efraín Montúfar Salcedo<sup>9</sup>, Carmen Cabanilla-Carpio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP), Proceso de Investigación de los Recursos Bioacuáticos y su Ambiente, Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Doctorado en Ciencias con Mención Manejo de Recursos Acuáticos Renovables (MaReA), Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, P.O. Box 160-C, Concepción 4030000, Chile

<sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación en Acuicultura Sustentable (INCAR), Universidad de Concepción, Concepción, Chile,

<sup>4</sup>AquaCEAL Corporation, Urb. Las Palmeras, Ave. Capitán Byron Palacios & General Quisquis, Santo Domingo de los Colorados, Ecuador

<sup>5</sup>Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos, Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Ecuador

<sup>6</sup>Maestría de Investigación en Acuicultura, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador

<sup>7</sup>Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Víctor Lamas St. 1290, Concepción 4030000, Chile

<sup>8</sup>Programa COPAS COASTAL ANID FB210021, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Víctor Lamas St. 1290, Concepción 4030000, Chile,

<sup>9</sup>Universidad Politécnica Salesiana UPS, Ecuador  
Carmen Cabanilla-Carpio  [ccabanilla@institutopesca.gob.ec](mailto:ccabanilla@institutopesca.gob.ec)



Palabras clave |  
Enfoque ecosistémico,  
dorado,  
factores ecológicos,  
factores sociales,  
factores económicos,  
factores humanos.

RESUMEN | El enfoque ecosistémico de la gestión pesquera (EAFM) se presenta como una estrategia integral diseñada para gestionar y garantizar la prestación de servicios derivados de los ecosistemas, el uso sostenible de los recursos naturales, incluida la pesca, y la preservación de la biodiversidad y los procesos biológicos críticos que mantienen la estructura y el funcionamiento de los hábitats marinos. La gestión pesquera tradicional, centrada en la maximización de las capturas sin considerar la complejidad de los ecosistemas marinos, ha conducido al declive global de los recursos pesqueros, evidenciando la necesidad de adoptar un enfoque más holístico y sostenible. Este estudio tiene como objetivo evaluar la aplicación del EAFM en la pesquería de *Coryphaena hippurus* en Ecuador, identificando cinco dimensiones clave: 1) la especie objetivo, 2) factores ecológicos, 3) factores sociales, 4) factores económicos y 5) factores humanos. Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva utilizando bases de datos multidisciplinarias, aplicando combinaciones de palabras clave relacionadas con el manejo ecosistémico y los factores asociados a *C. hippurus*. Se analizaron 132 fuentes bibliográficas para construir el marco teórico del estudio. La revisión identificó que *C. hippurus* es una especie altamente migratoria y clave en los ecosistemas marinos. Los resultados destacan la importancia de considerar no solo la abundancia y productividad de la especie, sino también los impactos del cambio climático, la contaminación y los factores económicos y sociales en la gestión pesquera. Además, se resalta la necesidad de mejorar la recopilación de datos y la cooperación internacional para implementar eficazmente el EAFM. La adopción del EAFM en la gestión de *C. hippurus* en Ecuador es crucial para la sostenibilidad a largo plazo de los recursos marinos. Este enfoque integral no solo aborda la conservación de la especie, sino también el bienestar de las comunidades pesqueras y la salud de los ecosistemas marinos. Las recomendaciones del estudio proporcionan una hoja de ruta para superar los desafíos actuales y promover una gestión pesquera más sostenible en el contexto ecuatoriano.

**Keywords |**

Ecosystem approach,  
dolphinfish,  
ecological factors,  
social factors,  
economic factors,  
human factors.

**ABSTRACT |** The ecosystem approach to fisheries management (EAFM) is presented as an integral strategy designed to manage and ensure the provision of ecosystem services, the sustainable use of natural resources, including fisheries, and the preservation of biodiversity and critical biological processes that maintain the structure and functioning of marine habitats. Traditional fisheries management, focused on maximizing catches without considering the complexity of marine ecosystems, has led to the global decline of fishery resources, highlighting the need to adopt a more holistic and sustainable approach. This study aims to evaluate the application of EAFM in the fishery of *Coryphaena hippurus* in Ecuador, identifying five key dimensions: 1) the target species, 2) ecological factors, 3) social factors, 4) economic factors, and 5) human factors. An exhaustive bibliographic review was conducted using multidisciplinary databases, applying combinations of keywords related to ecosystem management and factors associated with *C. hippurus*. A total of 132 bibliographic sources were analyzed to construct the theoretical framework of the study. The review identified that *C. hippurus* is a highly migratory and key species in marine ecosystems. The results highlight the importance of considering not only the abundance and productivity of the species but also the impacts of climate change, pollution, and economic and social factors in fisheries management. Additionally, the need to improve data collection and international cooperation to effectively implement EAFM is emphasized. The adoption of EAFM in the management of *C. hippurus* in Ecuador is crucial for the long-term sustainability of marine resources. This integral approach not only addresses species conservation but also the well-being of fishing communities and the health of marine ecosystems. The study's recommendations provide a roadmap to overcome current challenges and promote more sustainable fisheries management in the Ecuadorian context.

## INTRODUCCIÓN

La gestión pesquera tradicional ha estado centrada en la maximización de las capturas de especies objetivo, a menudo utilizando medidas como capturas totales permisibles basadas en el rendimiento máximo sostenible (Shen & Song, 2023). Sin embargo, esta perspectiva unidimensional ha generado preocupaciones debido a que no considera la complejidad de los ecosistemas marinos, que es esencial para la sostenibilidad a largo plazo de los recursos marinos (Cucuzza *et al.*, 2021).

Ante el declive global de los recursos pesqueros, existe acuerdo entre científicos y administradores de pesquerías en la necesidad de adoptar un Enfoque Ecosistémico en la Gestión Pesquera (EAFM). Este enfoque se refiere a una estrategia integral que busca gestionar y garantizar los servicios ecosistémicos, el uso de los recursos naturales, incluida la pesca y otras actividades humanas, al tiempo que preserva la biodiversidad y los procesos biológicos críticos para mantener la estructura y el funcionamiento de los hábitats marinos. Además, se consideran las implicaciones sociales y económicas relacionadas con la pesca. Esto compromete a la EAFM a garantizar que, hasta la fecha, el 75% de los Estados miembros de la FAO adopten este enfoque (Shen & Song, 2023).

Considerando lo anterior, en este artículo se realiza una revisión bibliográfica del enfoque ecosistémico y se identifica cinco dimensiones para evaluar la aplicación del EAFM en la pesquería de *Coryphaena hippurus*. La primera dimensión corresponde a la especie objetivo y a variables claves como abundancia, productividad, unidades poblacionales y estructura de talla/edad. La segunda dimensión se relaciona con los factores ecológicos asociados a la especie objetivo, tales como su hábitat, condiciones ambientales y cambio climático. Los factores sociales asociados a la especie objetivo se analizan en la tercera dimensión del EAFM. La cuarta dimensión aborda los factores económicos asociados a la especie objetivo (se dan ejemplos) y, por último, la quinta dimensión considera el factor humano asociado a la especie objetivo como el número de pescadores, la actividad de los observadores a bordo y en las playas, las comunidades costeras y otras partes interesadas del sector pesquero. A continuación, se lleva a cabo un análisis político sobre cómo los países que gestionan este recurso han incorporado el enfoque ecosistémico a su sistema de

gestión y toma de decisiones. Por último, el artículo concluye con sugerencias para abordar los retos y llenar los vacíos de información necesarias para trasladar el concepto de EAFM a la implementación en el resto de los Estados miembros de la FAO.

## METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica del enfoque ecosistémico considerando cinco dimensiones para evaluar la aplicación del EAFM. Con este fin, se consultaron publicaciones científicas disponibles en bases de datos multidisciplinarias como: Web of Science (<https://www.webofscience.com/>), Scopus (<https://www.scopus.com/sources.uri>), Google Scholar (<https://scholar.google.com>), SciELO (<https://scielo.org/es>) y Redalyc (<https://www.redalyc.org>), mediante el empleo de las siguientes combinaciones de palabras claves o keywords: "Ecosystem approach and fishery management of *C. hippurus*", "Management of ecological factors associated with *C. hippurus*", "Management of social factors associated with *C. hippurus*", "Management of economic factors associated with *C. hippurus*". Para confeccionar el cuerpo teórico del presente trabajo se utilizaron 132 fuentes bibliográficas, que comprenden artículos de investigación y revisiones bibliográficas actualizadas en diversos idiomas.

## RESULTADOS

### Evolución de las teorías, enfoques y principios rectores de la gestión pesquera sostenible

La gestión pesquera ha experimentado una evolución significativa a lo largo de la historia, reflejando una comprensión cada vez más profunda de la complejidad de los ecosistemas marinos y la necesidad de prácticas sostenibles. En la tabla 1 presentada en este documento ofrecen una visión general de las principales etapas en esta evolución, desde la teoría de la "Madre Naturaleza" hasta el enfoque actual que enfatiza la adaptación al cambio climático. Es importante reconocer que la evolución de la gestión pesquera es un proceso continuo, con nuevos enfoques y estrategias en desarrollo para abordar los retos

emergentes y garantizar la sostenibilidad de la pesca para las generaciones venideras.

Tabla 1. Evolución de las Teorías en la Gestión Pesquera

Año	Teoría/Enfoque	Descripción	Fuente
Antes de 1844	Teoría de la Madre Naturaleza	Supone recursos pesqueros ilimitados, sin necesidad de controles.	(Hardin, 1968; Cleghorn, 2023)
1844	Influencia ambiental y humana	Reconoce el impacto del ambiente y la sobrepesca en la disponibilidad de peces.	(Cleghorn, 2023)
1977	Rendimiento Máximo Sostenido (RMS)	Busca maximizar la captura sin agotar las poblaciones.	(Beddington, & May 1977)
1996	Manejo adaptativo	Introduce el concepto de manejo adaptativo en respuesta a la incertidumbre ecológica.	(Leonart et al., 1996)
2005	Enfoque Ecosistémico para la Gestión Pesquera (EAFM)	Considera las interacciones entre peces y el ecosistema.	(Jennings, 2004; Jennings, & Dulvy, 2005; Garcia & Cochrane, 2005)
2023	Enfoque actual	Enfatiza la adaptación al cambio climático y otros factores antropogénicos.	(IPCC, 2023)

Es importante destacar que la evolución de la gestión pesquera es un proceso continuo, con nuevos enfoques y estrategias en desarrollo para abordar los retos emergentes y garantizar la sostenibilidad de la pesca para las generaciones venideras. Las teorías y enfoques descritos en la Tabla 1 no son excluyentes entre sí, y a menudo se combinan para formar estrategias de gestión más efectivas. Además de las teorías y enfoques mencionados anteriormente, la gestión pesquera sostenible también se basa en un conjunto de principios rectores que guían la toma de decisiones y la implementación de estrategias. La Tabla 2 presenta algunos de los principios rectores más importantes, junto con sus ventajas y desventajas.

Tabla 2. Principios Rectores de la Gestión Pesquera Sostenible: Descripción, Ventajas y Desventajas

Año de Aparición	Principio	Descripción	Ventajas	Desventajas	Bibliografía
1990	Principio Basado en Ecosistemas	Enfatiza la protección y restauración de los ecosistemas marinos para asegurar la sostenibilidad de la pesca a largo plazo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considera las interacciones ecológicas.</li> <li>- Promueve la salud a largo plazo del ecosistema y las pesquerías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere datos extensos y complejos.</li> <li>- Puede ser difícil de implementar y monitorear.</li> </ul>	(Evans, 1990)
1992	Principio Precautorio	Promueve la cautela en la gestión pesquera, tomando medidas preventivas ante la incertidumbre científica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce el riesgo de sobreexplotación.</li> <li>- Protege el ecosistema frente a incertidumbres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede limitar la actividad pesquera excesivamente, afectando los ingresos de los pescadores.</li> </ul>	(Hey, 1992)
1997	Principio de Co-Gestión	Involucra la participación activa de los pescadores y las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones sobre la gestión pesquera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promueve la cooperación y el cumplimiento de las regulaciones.</li> <li>- Mejora la gestión a través de la inclusión de conocimientos locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede ser difícil coordinar y alinear los intereses de todas las partes involucradas.</li> </ul>	(Akiba, 1997)
1998	Principio Basado en los Derechos	Reconoce los derechos de las comunidades costeras a participar en la gestión y beneficiarse de	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empodera a las comunidades locales.</li> <li>- Promueve la equidad y el uso sostenible de los recursos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede ser complicado de implementar debido a conflictos de intereses y problemas de equidad.</li> </ul>	(Townsend, 1998)

		los recursos pesqueros.		
2011	Principio de Gestión Basada en Resultados	Se centra en alcanzar objetivos específicos de sostenibilidad, dejando flexibilidad en los métodos empleados para lograr dichos objetivos.	- Fomenta la innovación y la eficiencia.  - Puede adaptarse a diferentes contextos y necesidades.	- Requiere un sistema de monitoreo y evaluación robusto.  - Riesgo de no alcanzar los objetivos si no se implementa correctamente.
				(Fitzpatrick, 2011)

### Dimensión pesquera de *Coryphaena hippurus*

*Coryphaena hippurus* conocido comúnmente como dorado, perico, pez delfín, palombeta o mahi-mahi, es una especie altamente migratoria que se distribuye en aguas tropicales y subtropicales en todo el mundo (Bonner et al., 2017; Crossley et al., 2021; Farrell et al., 2014; Maggio et al., 2019). Esta especie prefiere aguas con temperaturas que oscilan entre 20 a 35.4°C, aunque puede tolerar temperaturas más bajas, alrededor de 16°C, durante cortos periodos (Crossley et al., 2021). *Coryphaena hippurus* es una especie epipelágica, por lo que se distribuye principalmente en las capas superficiales del océano y rara vez supera profundidades mayores que 10 m (Farrell et al., 2014; Maggio et al., 2019). Sin embargo, recientemente se ha confirmado que estos peces realizan movimientos diarios verticales en la columna de agua de hasta 111 m de profundidad y se enfrentan a variaciones de temperatura de más de 8°C en el proceso (Lau et al., 2020). Dependiendo en gran medida de su capacidad visual, *C. hippurus* es un depredador oportunista que utiliza esta facultad en su alimentación y en el proceso de evitar depredadores en su entorno pelágico (Magnuson et al., 2020). Este pez exhibe una alta demanda metabólica que sustenta sus comportamientos activos, como la búsqueda de alimento, la evitación de depredadores y sus patrones migratorios, lo que lo convierte en un componente importante de los ecosistemas marinos (Nelson et al., 2016). Se alimenta de casi todas las formas de peces, aunque consume principalmente peces clupeidos y exocétidos (Molto et al., 2020; Sacco et al., 2017). Además

depreda sobre zooplancton, crustáceos y en menor medida cefalópodos. Los gasterópodos pelágicos y los sifonóforos pueden considerarse alimentos ocasionales en la dieta (Castriota et al., 2007; Molto et al., 2020). Generalmente se alimenta durante el día y en ocasiones durante la noche (Castriota et al., 2007). Los alevines de *C. hippurus* se encuentran en aguas subsuperficiales y superficiales, mayoritariamente vinculadas a esteras de algas pardas, como *Sargassum* spp. (Magnuson et al., 2020). Utilizan estas algas tanto como fuente de alimento como zona de resguardo de los depredadores (Magnuson et al., 2020). Se ha observado que grandes peces pelágicos como atunes y delfines de dientes rugosos depredan sobre adultos de *C. hippurus* en el Pacífico oriental (Ghosh et al 2021; Pitman & Stinchcomb 2002).

*Coryphaena hippurus*, como especie de pez depredador pelágico, exhibe una alta demanda metabólica que impulsa su comportamiento activo en la búsqueda de alimentos, así como su capacidad de evitar depredadores, reproducirse y participar en patrones migratorios que involucran movimientos verticales rápidos, exponiéndose a fuertes cambios en la temperatura del agua (Crossley et al., 2021). Esta adaptación permite al dorado alimentarse, digerir con rapidez y escapar, lo que se alinea con otros atributos fisiológicos de alto rendimiento en especies de peces depredadores pelágicos (Crossley et al., 2021). En este contexto, los ajustes cardiovasculares desempeñan un papel fundamental al asegurar que se satisfagan las necesidades de transporte convectivo durante los períodos de aumento en el metabolismo tisular, que suelen acompañar a los cambios en las condiciones ambientales y el estado de digestión (Crossley et al., 2021). Durante el proceso de digestión, el flujo sanguíneo en el intestino experimenta un significativo aumento, que puede variar entre un 70% y un 150%, especialmente cuando el dorado se encuentra en aguas con temperaturas óptimas de 25 a 31°C (Crossley et al., 2021). Así, el dorado puede regular de manera diferencial el flujo sanguíneo gástrico en función de su estado de alimentación (Crossley et al., 2021). Este fenómeno podría explicar la eficacia digestiva y las tasas de crecimiento excepcionalmente altas observadas en estos depredadores pelágicos. Es esencial para una especie de pez pelágico activa como el *C. hippurus*, mantener su balance energético en diversas temperaturas, ya que, durante sus migraciones verticales, pueden experimentar cambios de temperatura repentinos (Lau et al., 2020).



*C. hippurus* presenta una longevidad máxima de aproximadamente 4 años, y la mayoría de las capturas consisten en peces de 2 años o menos (Gatt *et al.*, 2015; Maggio *et al.*, 2019). Las pesquerías comerciales incluso capturan ejemplares juveniles de tan solo 2 a 8 meses de edad, que se caracterizan por tener una longitud de horquilla (FL) de 25-60 cm (Gatt *et al.*, 2015; Maroso *et al.*, 2016; Maggio *et al.*, 2019). A pesar de que se conocen los efectos negativos de la pesca de juveniles, como la reducción del rendimiento y el reclutamiento futuro de la especie, no existe en Europa una regulación específica que establezca una talla mínima para la captura de esta especie (Maroso *et al.*, 2016). Sin embargo, en Ecuador la talla de pesca del *C. hippurus* debe ser mayor a 80 cm de longitud total según el artículo 5 del Acuerdo Ministerial No 070 publicado en el Registro Oficial el 19 de mayo de 2011, aunque durante el periodo regular de pesca (08 de octubre al 30 junio) se permite un 10% de ejemplares por debajo de esa talla. En Perú, de acuerdo con la Resolución Ministerial 249-2011-PRODUCE, se establece la Talla Mínima de Captura del recurso perico (*C. hippurus*) en setenta centímetros (70 cm) de longitud a la horquilla, con una tolerancia de hasta 10 % del número de juveniles capturados (ejemplares por debajo de la talla mínima legal). Estos marcos legales colocan a Ecuador y Perú en una posición de avanzada en cuanto a la pesca de esta especie. La gestión de las poblaciones de dorado se basa en la comprensión de su ciclo biológico, su comportamiento migratorio y la utilización de marcadores genéticos (Maggio *et al.*, 2019).

El dimorfismo sexual en el dorado se hace evidente, pero las diferencias morfológicas entre los sexos se manifiestan únicamente cuando los individuos alcanzan la madurez sexual, lo que suele ocurrir entre mayo y octubre del primer año de vida, cuando han alcanzado alrededor de los 60 cm de longitud de horquilla (FL) (Gatt *et al.*, 2015). La madurez sexual se alcanza en el primer año, con el 50% de las hembras madurando a una longitud de horquilla de aproximadamente 46 cm y el 50% de los machos a 47-48 cm (Schwenke & Buckel, 2008). En ambos sexos (Fig. 1), esta etapa de madurez marca el momento en que las características sexuales secundarias comienzan a manifestarse (Maroso *et al.*, 2016).



Figura 1. A) Hembra de dorado B) Macho de dorado *C. hippurus* capturados en el Puerto de Santa Rosa, Ecuador. Fuente: Fotografía original

El dimorfismo sexual se hace particularmente evidente en los ejemplares más grandes, ya que los machos desarrollan una frente cuadrada abultada característica, una característica morfológica que no se encuentra en las hembras (Massuti & MoralesNin, 1997). Sin embargo, en el caso de los especímenes más jóvenes, la determinación del sexo puede ser una tarea compleja y requiere un análisis histológico de las gónadas, un procedimiento que demanda tiempo y suele ser difícil debido al tamaño y estado de desarrollo de los peces en esta etapa temprana de sus vidas (Maroso et al., 2016).

Las hembras de dorado son altamente fecundas, produciendo lotes de huevos que pueden variar desde 20,000 hasta 620,000 durante la mayor parte del año (Maggio et al., 2019). Sin embargo, Arocha et al. (1999) encuentran que el desove de esta especie es indeterminado, con ovocitos maduros e inmaduros presentes en el ovario de manera permanente. Por ello, la fecundidad dependerá del número de ovocitos maduros en un momento determinado, más que del número total de ovocitos encontrados en el ovario. Estos desoves experimentan una

elevada mortalidad en sus etapas tempranas y juveniles, con tasas de mortalidad que pueden alcanzar hasta el 99% (Oxenford, 1999). La fecundidad anual de las hembras varía según el tamaño del pez, oscilando entre 15 y 174 millones de huevos en el Atlántico occidental (Maggio *et al.*, 2019). Los alevines de dorado van a la deriva en aguas superficiales y experimentan un rápido crecimiento durante los primeros 6 meses de vida, aumentando aproximadamente 4 mm al día (Maggio *et al.*, 2019).

En cuanto a su migración, los dorados se desplazan mar adentro en invierno en respuesta a los cambios estacionales de temperatura y disponibilidad de alimento (Massuti & Moralesnin, 1995; Maggio *et al.*, 2019). Se ha registrado que estos peces realizan movimientos circulares a lo largo de las costas atlánticas de América del Norte, Central y del Sur (Maggio *et al.*, 2019; Merten *et al.*, 2014). Sus patrones de movimiento siguen la corriente del Golfo en el Atlántico occidental (Merten *et al.*, 2014).

La temperatura superficial del mar y las concentraciones de clorofila-a son factores determinantes para la distribución de esta especie (Farrell *et al.*, 2014; Arocha *et al.*, 1999). La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) se incrementa significativamente a temperaturas superiores a 22-25°C y concentraciones de clorofila-a mayores a 0.2 mg/m<sup>3</sup> (Maggio *et al.*, 2019).

A pesar de su capacidad para migrar largas distancias, se han identificado al menos tres grandes poblaciones de dorado en el Atlántico occidental: la costa oriental de Brasil, la costa noreste de Brasil y Venezuela hasta Puerto Rico, y hacia el norte desde Puerto Rico incluyendo las Bahamas, Florida, las Carolinas y posiblemente el Golfo de México (Oxenford, 1999; Duarte-Neto *et al.*, 2008).

Las tasas de crecimiento son comparables entre las poblaciones del Atlántico occidental septentrional y las poblaciones mediterráneas, aunque difieren en las poblaciones del Atlántico occidental meridional (Chang *et al.*, 2013). Se ha registrado un sesgo de género en la proporción de sexos, con predominio de hembras entre los peces más jóvenes y machos entre los más viejos (Maggio *et al.*, 2019).

Una característica interesante del dorado es su tendencia a agregarse debajo de objetos flotantes, lo que ha llevado al desarrollo de dispositivos artificiales de agregación de peces (DCP) para mejorar las capturas en las pesquerías comerciales (Díaz-Jaimes et al., 2010).

Los avances en la genómica también han proporcionado información valiosa sobre aspectos biológicos clave de *C. hippurus*. El genoma mitocondrial completo de *C. hippurus* y su relación con especies relacionadas, como *C. equiselis*, han sido analizados para revelar la evolución y la conservación de estas especies (Xu et al., 2018). Además, se ha investigado la expresión de genes y ARNm relacionados con la excreción de amoníaco y urea en *C. hippurus*, lo que establece consideraciones preliminares sobre los mecanismos fisiológicos y la adaptación a cambios en su entorno (Wang et al., 2019).

La relación entre los aspectos genéticos y biológicos de *C. hippurus* se ha explorado en diversos contextos. Por ejemplo, las diferencias genéticas entre morfotipos de *C. hippurus* han demostrado variaciones en caracteres morfológicos y percepciones de los pescadores, destacando la importancia de considerar estas diferencias en la gestión y conservación (Bonner et al., 2017).

### Gestión de factores ecológicos asociados al *C. hippurus*

En el vasto escenario del mar abierto, los objetos flotantes desempeñan un papel fundamental al convertirse en auténticos ecosistemas que atraen a una variada gama de especies, que van desde el diminuto plancton hasta los depredadores más destacados, incluyendo a los seres humanos (Lezama-Ochoa et al., 2017). Estos objetos flotantes abarcan desde elementos naturales como el sargazo, las algas y los troncos, hasta dispositivos artificiales de concentración de peces (DCP) y los desechos plásticos que la humanidad abandona en el océano (Sebillé et al., 2020; Alfaro-Núñez et al., 2021). A pesar de que las investigaciones han resaltado la importancia ecológica general de estos objetos flotantes, las tasas significativas de capturas en torno a los DCP han llevado a un aumento en su uso por parte de los pescadores (Lennert-Cody et al., 2018; Lezama-Ochoa et al., 2017).

En este contexto, el dorado se posiciona como una de las especies de peces más estrechamente vinculadas a estos objetos flotantes (Ortega-García *et al.*, 2022). El dorado dedica gran parte de su tiempo a mostrar un comportamiento que sugiere una posible asociación con estos objetos, lo que tiene un impacto directo en la estructura y el crecimiento de su población (Ortega-García *et al.*, 2022). Además, la presencia de *C. hippurus* en las cercanías de objetos flotantes podrían desempeñar un papel en la expansión de esta especie hacia otros hábitats ricos en presas (Tugores *et al.*, 2011). Este hallazgo plantea la posibilidad que *C. hippurus* represente una amenaza potencial para las especies autóctonas (Marengo *et al.*, 2014). Asimismo, se han identificado individuos de *C. hippurus* en aguas poco profundas, lo que sugiere una posible migración de esta especie hacia aguas menos profundas en busca de presas (Ivesa *et al.*, 2021).

Es importante destacar que bajo los dispositivos de concentración de peces (DCP), utilizados tanto por pescadores comerciales como en ocasiones por pescadores recreativos, se encuentran principalmente hembras y machos jóvenes, mientras que los machos adultos prefieren las aguas abiertas al moverse entre las DCP dominadas por hembras (Oxenford, 1999). Por lo tanto, la pesca alrededor de los DCP podría provocar alteraciones en la proporción de sexos en determinadas fases de la vida de *C. hippurus* (Maroso *et al.*, 2016).

Sin embargo, esta relación entre el dorado y los objetos flotantes se encuentra amenazada por la creciente demanda y consumo de productos plásticos, la accesibilidad económica y la persistencia de estos materiales, así como la frecuente gestión inadecuada de los residuos plásticos (Li *et al.*, 2022). En conjunto, estos factores han generado enormes acumulaciones de residuos plásticos en todo el mundo, planteando riesgos ambientales y sanitarios sin precedentes (Li *et al.*, 2022). Solo en el año 2010, se generaron 27 millones de toneladas de residuos plásticos en 192 países costero. Se estima que entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas terminaron en el océano (Jambeck *et al.*, 2015). Se considera que este inmenso flujo de plásticos desde tierra hacia el océano, que se ha convertido en el destino predominante de los residuos plásticos, representa una amenaza para la vida marina en su totalidad (Eriksen *et al.*, 2014; Azevedo-Santos *et al.*, 2019).

La preocupación por la contaminación por microplásticos en los peces ha ido en aumento a nivel mundial debido a sus implicaciones para la salud humana

(Cáceres-Farias et al., 2023). Los grandes fragmentos de plástico se descomponen gradualmente en microplásticos (de menos de 5 mm de tamaño) o incluso en nanoplásticos (menos de 100 nm), y persisten en el ambiente durante largos periodos de tiempo (Moore, 2008; Li et al., 2022). Estos microplásticos y nanoplásticos pueden ser ingeridos tanto directa como indirectamente por diversas especies marinas y, a través de diferentes niveles tróficos en la cadena alimentaria, pueden ser transferidos (Baalkhuyur et al., 2019; Hanachi et al., 2019; Cáceres-Farias et al., 2023). Una vez que se acumulan en especies marinas vulnerables, los microplásticos y nanoplásticos pueden causar obstrucciones físicas en los tractos digestivos, trastornos fisiológicos, problemas de osmorregulación y alteraciones en la reproducción (Wang et al., 2019; Watts et al., 2016). La prevalencia y alta incidencia de microplásticos en las branquias, el esófago, el estómago, el tracto intestinal y el músculo del *C. hippurus* sugieren que esta especie pelágica se encuentra en grave riesgo de exposición a la contaminación por microplásticos (Alfaro-Núñez et al., 2021; Li et al., 2022).

Los factores antropogénicos tienen un impacto significativo en la fisiología de los organismos, y la exposición al petróleo crudo, como resultado de desastres industriales, es un ejemplo destacado (Nelson et al., 2016). Por lo tanto, es crucial identificar los órganos específicos que pueden resultar afectados por el petróleo (Kirby et al., 2019). Esto es esencial para comprender cómo la liberación de petróleo puede influir en los animales y su entorno circundante (Kirby et al., 2019). Dado que la exploración y extracción de petróleo crudo en el medio marino continúa, es de vital importancia investigar cómo esta exposición puede perjudicar a los peces, que desempeñan un papel crucial tanto en el ámbito ecológico como económico (Kirby et al., 2019).

En particular, cuando *C. hippurus* se acerca a áreas altamente contaminadas con petróleo tienden a mostrar la capacidad de evitar esas zonas, y esta conducta se intensifica a medida que aumenta la concentración de petróleo crudo en el agua (Schlenker et al., 2019). Sin embargo, es importante destacar que incluso una exposición breve de tan solo 24 h al petróleo puede alterar este comportamiento, haciendo que los peces dejen de evitar las aguas contaminadas con petróleo (Schlenker et al., 2019). En casos en los que los peces no pueden escapar de la exposición al petróleo, es probable que dejen de buscar aguas limpias y continúen expuestos a la contaminación (Schlenker et al., 2019).

Este cambio de comportamiento se atribuye a lesiones en el procesamiento de órdenes superiores en el sistema nervioso central, en lugar de ser una alteración en la fisiología olfativa (Schlenker *et al.*, 2019). El sistema cardiovascular desempeña un papel fundamental en la transferencia de oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos en los organismos (Nelson *et al.*, 2016). Esto se logra a través de la modulación del gasto cardíaco, que satisface las demandas metabólicas de los tejidos activos (Nelson *et al.*, 2016). En los peces teleosteos se ha observado que los aumentos en el rendimiento de natación van de la mano con incrementos importantes en el gasto cardíaco (Nelson *et al.*, 2016). Esta relación es fundamental para mantener una mayor actividad de natación en los peces (Nelson *et al.*, 2016). La función cardiovascular está estrechamente correlacionada con el rendimiento del ejercicio (Nelson *et al.*, 2016). El acoplamiento del gasto cardíaco a la demanda metabólica asegura que el transporte convectivo de oxígeno y nutrientes satisfaga las necesidades de los tejidos (Nelson *et al.*, 2016). Esta interacción es esencial para optimizar el suministro de oxígeno y nutrientes a los tejidos activos durante el ejercicio (Nelson *et al.*, 2016). Asimismo, la exposición aguda al petróleo en concentraciones relevantes para el medio ambiente en el derrame de petróleo disminuye la tasa metabólica máxima y la capacidad aeróbica en *C. hippurus* cuando se **expusieron a concentraciones totales de hidrocarburos aromáticos de  $8,4 \pm 0,6 \mu\text{g L}^{-1}$**  (Stieglitz *et al.*, 2016). Además, las exposiciones agudas a concentraciones **subletales de petróleo crudo ( $9,6 \pm 2,7 \mu\text{g L}^{-1}$  de hidrocarburos aromáticos totales)** afectan negativamente a la función cardiovascular, reduciendo el gasto cardíaco en dorados adultos y la reducción del rendimiento de natación en juveniles y adultos (Kirby *et al.*, 2019; Nelson *et al.*, 2016). Esto limitaría la capacidad de esta especie para migrar, capturar presas y evitar la depredación (Nelson *et al.*, 2016; Stieglitz *et al.*, 2016).

La presencia de metales en los ecosistemas acuáticos plantea un grave problema tanto para el medio ambiente como para la salud humana (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Esta preocupación se deriva no solo de los efectos tóxicos directos que los metales pueden tener en los organismos, sino también de manera indirecta a través del consumo de alimentos contaminados (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). La entrada de metales en los ecosistemas acuáticos se atribuye principalmente a dos fuentes significativas: procesos naturales, como la desgasificación de la corteza terrestre y la actividad volcánica, y fuentes

antropogénicas, que incluyen vertidos industriales, la quema de combustibles fósiles, el uso de productos agroquímicos y las actividades de minería y fundición (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Sin embargo, las fuentes de origen humano han contribuido de manera significativa al aumento del impacto ambiental (Drevnick et al., 2015).

Debido a la capacidad de los metales para acumularse en los tejidos orgánicos, existe una creciente preocupación en todo el mundo sobre la contaminación indirecta por metales a través del consumo de alimentos, ya que esta es la principal vía de exposición a metales pesados para los seres humanos (Onsanit et al., 2012). Entre los metales no esenciales, se ha prestado especial atención a la acumulación de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en diversos organismos acuáticos y su transferencia a lo largo de la red trófica (Damiano et al., 2011). Dado que los peces son una fuente fundamental de alimento para los seres humanos, especialmente los depredadores superiores como los grandes peces pelágicos, su exposición a la contaminación por metales representa un riesgo significativo (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Esto se debe a que muchos metales pesados tienden a acumularse en estos peces en concentraciones más elevadas que las presentes en el medio ambiente y en sus presas (Ruelas-Inzunza et al., 2014; Loo-Bravo et al., 2019).

En el caso de los peces de importancia comercial, la bioacumulación de metales puede tener graves implicaciones para la salud humana (Kojadinovic et al., 2006). La acumulación de metales pesados puede afectar negativamente la salud de los peces, alterando su fisiología, reproducción y crecimiento. Esto puede reducir la población de peces y afectar su capacidad para reproducirse y mantener poblaciones saludables. Además, los efectos tóxicos de los metales pesados no solo afectan a los peces individuales sino también a la dinámica de las poblaciones y a las interacciones ecológicas dentro del ecosistema marino. La presencia de metales pesados puede alterar las cadenas tróficas y afectar a otras especies que dependen de *C. hippurus* como fuente de alimento.

Estos efectos incluyen la alteración de la función fisiológica de los peces, lo que puede llevar a cambios en los parámetros hematológicos y bioquímicos, debilitamiento del sistema inmunológico y daño a órganos y tejidos vitales (Authman et al., 2015). La reproducción de los peces también se ve gravemente



afectada, con alteraciones en el índice gonadosomático y la ovulación, así como la inducción de apoptosis en células reproductoras (Bera *et al.*, 2022; Migliarini *et al.*, 2005). A nivel ecológico, los metales pesados pueden modificar las cadenas tróficas y afectar a especies depredadoras y presas, impactando negativamente en la estructura y función del ecosistema marino (Jakimska, *et al.*, 2011).

En particular, en el contexto de Ecuador, se ha detectado que aproximadamente la mitad de las muestras de músculo de dorado del Océano Pacífico Oriental en la ciudad de Manta, Ecuador presentan niveles de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) que superan los límites considerados seguros para el consumo humano según las normativas de la Unión Europea (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Estos resultados indican la necesidad de consumir esta especie con precaución (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Si se toma en cuenta la ingesta semanal tolerable recomendada por la Organización Mundial de la Salud para adultos, los resultados resaltan que el mercurio (Hg) es el metal que más limita el consumo de dorado, con una ingesta máxima recomendada de 178 gramos de carne de *C. hippurus* por semana para un adulto (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Sin embargo, estudios complementarios (Villarreal de la Torre *et al.*, 2016) no muestran que los niveles de Cd y Hg en muestras de *C. hippurus* desembarcados en Manta superen los niveles permitidos en la normativa ecuatoriana e internacional, pero sí reflejan cómo los niveles de estos dos metales pesados se elevan con la talla de los peces evaluados.

El cambio climático y sus fenómenos asociados, como el calentamiento global, los eventos climáticos extremos y la acidificación oceánica, representan una amenaza significativa para las poblaciones de *C. hippurus* y las comunidades que dependen de su pesca (Bignami *et al.*, 2014). A continuación, se detallan algunos de los impactos potenciales del cambio climático en esta especie:

### Acidificación oceánica

- Reducción del consumo de oxígeno: La hipercapnia ambiental (aumento del CO<sub>2</sub> disuelto) reduce significativamente la tasa de consumo de oxígeno en las larvas recién eclosionadas de *C. hippurus* (hasta un 17%).

- Disminución de la capacidad natatoria: La hipercapnia afecta negativamente la duración de la natación y la frecuencia de orientación en las larvas, dificultando su dispersión y supervivencia.
- Impactos en el reclutamiento y la dinámica poblacional: Los desafíos metabólicos y locomotores provocados por la acidificación oceánica pueden afectar negativamente el reclutamiento, el éxito de la dispersión y la dinámica de la población de *C. hippurus* a largo plazo (Pimentel et al., 2014).

### Cambios en la temperatura del agua

- Alteración de la distribución y migración: Los cambios en la temperatura del agua y los patrones de circulación pueden modificar la distribución geográfica y los patrones migratorios de *C. hippurus*.
- Afectación de la disponibilidad de alimento: Las alteraciones en la temperatura del agua pueden afectar la distribución y abundancia de las presas de *C. hippurus*, impactando su acceso al alimento.
- Riesgo de enfermedades: Los cambios en la temperatura del agua pueden favorecer la proliferación de patógenos y parásitos, aumentando el riesgo de enfermedades parasitarias en *C. hippurus* (Pimentel et al., 2014; Santana-Piñeros et al., 2020, 2022).

### Aumento de la zona de mínima de oxígeno

El aumento de la zona de mínima de oxígeno (OMZ) en el océano representa una amenaza significativa para los peces pelágicos grandes, como el *C. hippurus*. Este fenómeno, impulsado por el calentamiento global, genera dos impactos principales:

### Restricción del Hábitat Útil

- Descensos del oxígeno disuelto: Las predicciones de los modelos climáticos y las observaciones revelan descensos regionales del oxígeno disuelto oceánico, lo

que reduce el área habitable para los peces que dependen de niveles adecuados de oxígeno para sobrevivir.

- Expansión de la OMZ: La zona mínima de oxígeno se está expandiendo verticalmente, lo que significa que las aguas con niveles de oxígeno insuficientes están ascendiendo en la columna de agua, ocupando espacios que antes eran habitables para los peces pelágicos.
- Pérdida de hábitat: Se estima una pérdida anual de hábitat de aproximadamente un 15% para el periodo 1960-2010, lo que limita severamente el espacio disponible para las poblaciones de peces pelágicos grandes (Stramma, *et al.*, 2012).

### Aumento de la Vulnerabilidad

- Mayor susceptibilidad a la pesca: La OMZ, con sus bajos niveles de oxígeno, puede debilitar a los peces pelágicos grandes, haciéndolos más vulnerables a la captura por artes de pesca de superficie, como el palangre y la pesca con redes de cerco.
- Declive de la diversidad de depredadores: Se ha asociado a la expansión de la OMZ con un declive global del 10-50% en la diversidad de depredadores pelágicos. Esto altera la dinámica del ecosistema marino y puede tener consecuencias negativas para la cadena alimentaria.
- Amenaza a la sostenibilidad de las pesquerías: La expansión de la OMZ atlántica, en particular, amenaza la sostenibilidad de las valiosas pesquerías pelágicas y los ecosistemas marinos que dependen de ellas (Stramma, *et al.*, 2012; Keeling, 2010).

### Impactos de la pesca de *C. hippurus* en el ecosistema marino

#### Captura incidental y especies amenazadas

La pesca del dorado no solo captura la especie objetivo, sino que también incluye una variedad de especies no deseadas o by-catch, como peces, aves, mamíferos marinos y reptiles. Un estudio en Costa Rica documentó capturas incidentales significativas de tortugas marinas, como la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), y diversas especies de tiburones, incluyendo el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y el tiburón zorro (*Alopias pelagicus*, *A. vulpinus* y

*A. superciliosus*) (Whoriskey et al., 2011). La captura incidental de estas especies, muchas de ellas en peligro de extinción, puede tener graves consecuencias para sus poblaciones.

#### Medidas de mitigación para la captura incidental:

- Cierre de la pesquería: Se pueden establecer temporadas cerradas en las que la pesca del dorado esté prohibida, especialmente durante los períodos de mayor presencia de especies amenazadas (Whoriskey et al., 2011).
- Prohibición del cercenamiento de aletas de tiburón: Esta práctica, que consiste en cortar las aletas de los tiburones y desechar el resto del cuerpo, es una gran amenaza para las poblaciones de tiburones.
- Mejora de las prácticas de extracción y liberación: Los pescadores deben ser capacitados en técnicas para extraer y liberar de forma segura las especies capturadas incidentalmente.
- Limitación del tiempo de inmersión del arte: Reducir el tiempo que los anzuelos y líneas de pesca permanecen en el agua puede disminuir la probabilidad de capturas incidentales (Whoriskey et al., 2011).
- Cambio de cebo y punteras: Utilizar cebo de pescado artificial y punteras de nailon en lugar de anzuelos de acero inoxidable podría reducir la captura accidental de algunas especies (Whoriskey et al., 2011).
- Mayor cobertura de observadores: Es necesario aumentar la presencia de observadores a bordo de los barcos pesqueros para registrar y documentar la captura incidental con mayor precisión (Whoriskey et al., 2011).

#### Efectos del arte de pesca en el hábitat

El uso de artes de pesca como el palangre puede tener efectos adversos sobre el hábitat marino:

- Alteración de los fondos marinos: Los anzuelos y líneas de pesca pueden dañar los fondos marinos y los arrecifes de coral, especialmente cuando se arrastran por el fondo.
- Degradación de hábitats bentónicos: La disposición incorrecta de los aparejos de pesca puede contaminar y degradar los hábitats bentónicos, donde viven muchas especies marinas. Por ejemplo, los FADs pueden alterar los

comportamientos migratorios naturales de diversas especies pelágicas (Kingsford & Defries, 1999; Taquet *et al.*, 2000).

- Contaminación marina: Los dispositivos de agregación de peces (FADs), aunque útiles para aumentar la captura de *C. hippurus*, pueden generar contaminación marina por la acumulación de basura y materiales enredados en ellos (Kingsford & Defries, 1999; Taquet *et al.*, 2000).

Medidas para mitigar los impactos en el hábitat:

- Promover el uso de artes de pesca alternativas: Existen artes de pesca más selectivas y con menor impacto ambiental, como las líneas de pesca con anzuelos circulares, que pueden ser utilizadas para la captura del dorado (Andraka *et al.*, 2013).
- Implementación de prácticas de pesca responsables: Los pescadores deben ser capacitados en prácticas que minimicen el daño al hábitat marino, como evitar el arrastre de los aparejos de pesca por el fondo y la correcta disposición de los desechos.
- Establecimiento de áreas marinas protegidas: La creación de áreas marinas protegidas donde la pesca esté restringida o prohibida puede ayudar a proteger los hábitats marinos y las especies que dependen de ellos.

### Impactos tróficos en el ecosistema

- La extracción masiva de *C. hippurus* puede tener efectos tróficos significativos en el ecosistema marino:
- Alteración de la cadena alimentaria: La sobrepesca del dorado puede reducir sus poblaciones, lo que afectaría a las poblaciones de sus presas (como los peces voladores) y sus depredadores naturales (Varela *et al.*, 2017).
- Pérdida de biodiversidad: La disminución de una especie importante como el dorado puede afectar la biodiversidad del ecosistema marino y su resiliencia ante perturbaciones ambientales.

Medidas para mitigar los impactos tróficos:

- Establecimiento de límites de captura y cuotas de pesca sostenibles: Es fundamental determinar la capacidad de carga del ecosistema y establecer límites de captura que permitan mantener las poblaciones de dorado en niveles saludables.
- Promoción de la pesca sostenible: Se deben implementar políticas y prácticas pesqueras

## Gestión de factores sociales asociados al *C. hippurus*

*Coryphaena hippurus*, desempeña un papel importante en las comunidades costeras y la industria pesquera en todo el mundo. Además de su valor económico como recurso pesquero, el dorado también tiene un significado cultural y social en muchas regiones, siendo apreciado tanto por su carne como por su atractivo en el ecoturismo marino para la pesca deportiva. En algunas culturas, el dorado tiene connotaciones simbólicas y se asocia con la abundancia y la buena fortuna.

### Gobernanza Marino-Costera: Un Enfoque Integral

La gobernanza marino-costera (GMC) se define como un conjunto de mecanismos y procesos que facilitan la coordinación social e institucional entre diversos actores con intereses y prácticas relacionadas con los ecosistemas marinos. Su objetivo principal es permitir la toma de decisiones efectiva, la creación de normas y la gestión sostenible de los recursos marinos (Stoker, 1998).

#### Elementos Clave de la Gobernanza Marino-Costera

- **Coordinación:** La GMC busca articular las acciones e intereses de diversos actores, incluyendo comunidades locales, autoridades gubernamentales, científicos, organizaciones no gubernamentales y el sector privado. Esta coordinación es esencial para la implementación de políticas integradas y coherentes que aborden los desafíos multifacéticos que enfrentan los ecosistemas marinos (Jentoft, 2007)
- **Participación:** Se promueve la participación activa de todos los actores relevantes en la toma de decisiones y la gestión de los recursos marinos. La inclusión de diversos puntos de vista y conocimientos asegura que las políticas y prácticas sean equitativas y efectivas (Li et al., 2018).
- **Equidad:** La GMC busca garantizar una distribución justa y equitativa de los beneficios y responsabilidades asociados con los ecosistemas marinos. Esto incluye asegurar que las comunidades locales, especialmente las más vulnerables, tengan acceso equitativo a los recursos y oportunidades de desarrollo (Cohen et al., 2012).

- **Sostenibilidad:** La gestión de los recursos marinos se realiza de manera sostenible, considerando las necesidades actuales y futuras de las generaciones presentes y venideras. Este enfoque promueve prácticas que no comprometan la capacidad de los ecosistemas marinos para proporcionar servicios esenciales a largo plazo (Sherman, 2015).

### Principios de Gobernanza Marino-Costera

- **Establecimiento de Marcos Normativos y Reglamentarios:** Se definen marcos legales claros y transparentes que regulan el uso y la gestión de los recursos marinos. Estos marcos proporcionan la base legal necesaria para implementar políticas y prácticas sostenibles (Bigagli, 2016).
- **Elaboración de Políticas a Corto y Largo Plazo:** Se desarrollan políticas públicas que abordan los desafíos y oportunidades de la gestión marino-costera tanto a corto como a largo plazo. Estas políticas deben ser adaptativas y basadas en evidencia científica para responder a los cambios dinámicos en los ecosistemas marinos (Campbell, 2016).
- **Procesos Participativos:** Se fomenta la participación activa de todos los actores relevantes en la elaboración e implementación de políticas y planes de gestión. La participación inclusiva asegura que las decisiones reflejen las necesidades y aspiraciones de todas las partes interesadas (Provot *et al.*, 2020).
- **Conexión entre Gobierno y Sociedad Civil:** Se establecen mecanismos de diálogo y colaboración entre el sector público y la sociedad civil para armonizar perspectivas y lograr objetivos comunes. Esta conexión es fundamental para construir confianza y asegurar el cumplimiento de las políticas (Stephenson *et al.*, 2018; Chuenpagdee & Jentoft, 2018).

### Desafíos para la Gobernanza Pesquera en Ecuador

La gobernanza pesquera en Ecuador enfrenta diversos desafíos, incluyendo:

- **Pesca Ilegal, No Declarada y No Reglamentada (INDNR):** La pesca INDNR representa una seria amenaza para la salud de los ecosistemas marinos, la equidad en el acceso a los recursos pesqueros y la competencia desleal en el mercado. Esta actividad ilegal socava los esfuerzos de conservación y gestión

pesquera, poniendo en riesgo la sostenibilidad de las poblaciones de peces y la biodiversidad marina (Auld et al., 2023).

- **La piratería marítima:** Esta amenaza en las costas ecuatorianas genera inseguridad en la zona, afectando no solo a los pescadores artesanales e industriales, sino también a las actividades de investigación científica y control pesquero. La presencia de piratas, así como las vacunas y extorsiones, incrementa los costos operativos y desalienta la inversión en el sector pesquero (Phayal et al., 2024). Al respecto, M. Roca (SRP Manta, com. pers) encontró que durante 2023, de casi 400 pescadores artesanales encuestados, al menos el 50% habían sido víctimas de ataques por piratas durante las operaciones pesqueras.
- **Sobrepesca:** La sobrepesca de algunas especies marinas pone en riesgo la viabilidad de estas poblaciones y afecta negativamente la salud de los ecosistemas marinos (Jackson, 2001).
- **Falta de Control y Vigilancia Efectiva:** La limitada capacidad de control y vigilancia marítima dificulta la lucha contra la pesca INDNR y el cumplimiento de las regulaciones pesqueras. La implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y la capacitación adecuada del personal son aspectos críticos para mejorar la vigilancia y el control en el mar (Fujii et al., 2021).
- **Debilidad Institucional:** La fragmentación institucional y la falta de coordinación entre las diferentes entidades gubernamentales responsables de la gobernanza pesquera obstaculizan la gestión eficaz del sector. La mejora de la coordinación interinstitucional, el fortalecimiento de las capacidades administrativas y la transparencia en la toma de decisiones son esenciales para una gobernanza pesquera efectiva (Albartin, 2019; Fennell, 2011).

## Estrategias para la Gobernanza Pesquera en Ecuador

El sector pesquero en Ecuador enfrenta una serie de desafíos complejos que amenazan su sostenibilidad y el bienestar de las comunidades que dependen de él. Para abordar estos desafíos de manera efectiva, se requiere un enfoque integral que combine estrategias que fortalezcan las instituciones, promuevan la tecnología, incentiven la pesca sostenible, fomenten la colaboración y apliquen principios científicos sólidos. Para abordar estos desafíos y fortalecer la gobernanza pesquera en Ecuador, se requieren diversas estrategias, como:



### Fortalecimiento de la Capacidad Institucional:

- **Inversión en Capacitación y Recursos:** Brindar capacitación especializada y recursos adecuados al personal de las instituciones encargadas de la vigilancia y control pesquero, incluyendo formación en diplomacia científica para la resolución de conflictos y la toma de decisiones basada en evidencia (Teneva et al., 2022).
- **Mejora de la Coordinación Interinstitucional:** Establecer mecanismos efectivos de coordinación entre las diferentes entidades gubernamentales involucradas en la gestión pesquera, incluyendo ministerios, instituciones de investigación y entidades locales.
- **Modernización de la Infraestructura:** Invertir en la actualización de equipos y tecnologías para la vigilancia y control pesquero, incluyendo embarcaciones, sistemas de monitoreo electrónico y herramientas de análisis de datos.

### Uso de Tecnologías Avanzadas:

- **Implementación de Sistemas de Monitoreo Electrónico:** Implementar sistemas de monitoreo electrónico en las embarcaciones pesqueras (Vessel Monitoring System - VMS) para rastrear su ubicación y actividades en tiempo real, combatiendo así la pesca INDNR (Ferreira & Martins, 2019).
- **Aprovechamiento de Tecnologías Satelitales:** Utilizar imágenes satelitales y datos de rastreo para identificar patrones de pesca sospechosos y optimizar las estrategias de control y vigilancia.
- **Desarrollo de Aplicaciones Móviles:** Desarrollar aplicaciones móviles que permitan a los pescadores y autoridades reportar actividades pesqueras ilegales o inusuales de manera fácil y oportuna.

### Promoción de la Pesca Sostenible:

- **Fomento de Prácticas Pesqueras Responsables:** Brindar capacitación y asistencia técnica a los pescadores para adoptar prácticas pesqueras sostenibles que minimicen el impacto ambiental y la sobreexplotación de recursos.
- **Implementación de Programas de Certificación:** Desarrollar e implementar programas de certificación y etiquetado ecológico para reconocer y premiar a los pescadores que adoptan prácticas sostenibles.

- Incentivos para la Pesca Sostenible: Implementar incentivos económicos, como subsidios o reducciones de impuestos, para motivar a los pescadores a adoptar prácticas sostenibles.

#### Mejora de la Coordinación Interinstitucional:

- Creación de Comités Multisectoriales: Establecer comités multisectoriales que incluyan representantes de entidades gubernamentales, pescadores artesanales e industriales, comunidades locales, organizaciones no gubernamentales y el sector científico.
- Mecanismos de Comunicación Efectivos: Desarrollar y mantener canales de comunicación claros y eficientes entre las diferentes entidades involucradas en la gestión pesquera para facilitar el intercambio de información y la toma de decisiones conjunta.
- Enfoque Basado en los Derechos: Incorporar un enfoque basado en los derechos en la gestión pesquera, reconociendo los derechos de acceso y uso de los recursos pesqueros por parte de las comunidades locales.

#### Participación Comunitaria:

- Cogestión Pesquera: Implementar modelos de cogestión pesquera que involucren activamente a las comunidades locales en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de los recursos pesqueros (Kyvelou et al., 2023).
- Fortalecimiento de Capacidades Locales: Brindar capacitación y asistencia técnica a las comunidades locales para que puedan participar efectivamente en la vigilancia y monitoreo de sus propios recursos pesqueros.
- Programas de Concienciación: Desarrollar e implementar programas de concienciación para educar a las comunidades locales sobre la importancia de la pesca sostenible y la conservación de los ecosistemas marinos.

#### Aplicación de los Principios de Diplomacia Científica:

- Evaluación de Servicios Ecosistémicos: Aplicar los principios de la diplomacia científica para evaluar los servicios ecosistémicos proporcionados por los recursos pesqueros en Ecuador (Teneva et al., 2022).

- Diálogo Basado en la Ciencia: Fomentar el diálogo y la colaboración entre científicos, gestores pesqueros y comunidades locales para la toma de decisiones informada basada en evidencia científica.
- Gestión Transfronteriza: Los recursos pesqueros no siempre se limitan a las fronteras nacionales. La diplomacia científica facilita la colaboración entre países para la gestión transfronteriza de estos recursos, asegurando su manejo sostenible y evitando conflictos internacionales (Teneva et al., 2022).

### Gestión de factores económicos asociados a *C. hippurus*

*Coryphaena hippurus* ha sido explotado tanto por la pesca comercial como deportiva en las costas de Brasil. En el estado de Río de Janeiro, por ejemplo, la pesca de esta especie representa el 2% de la producción pesquera marina total del estado (Bonner et al., 2017). Este porcentaje, aunque pequeño en comparación con otras especies, destaca la relevancia del dorado en la diversificación de la economía pesquera y en la oferta de recursos marinos accesibles para distintas modalidades de pesca.

En Ecuador, la pesca no solo constituye una actividad económica fundamental, sino que también se ha convertido en un pilar socioeconómico esencial. La pesca se posicionó como la segunda actividad económica más relevante del país, contribuyendo con aproximadamente el 12% del comercio total (Araujo & Cedeno-Macias, 2016), y para 2024 se espera que las exportaciones de productos de la pesca y la acuicultura ecuatorianos superen a las de petróleo (MPCEIP, 2024). Dentro de este contexto, *C. hippurus* es una especie de alta demanda en la pesca artesanal, recreativa y comercial (Maggio et al., 2019). Su importancia económica y social se refleja en su contribución al sustento de numerosas comunidades costeras.

Este recurso es consumido en cantidades significativas y es de gran relevancia tanto para los mercados nacionales como internacionales (Araujo & Cedeno-Macias, 2016). Con un 80% de su producción destinada a la exportación y un 20% para el consumo interno (Martínez, 2017), el dorado genera un ingreso anual estimado de USD 65 millones por la exportación de dorado fresco y congelado, convirtiéndolo en la especie más relevante para la pesquería artesanal ecuatoriana (MPCEIP, 2020). Su captura involucra a un número significativo de

embarcaciones, aproximadamente 4.666 artesanales y 223 barcos nodriza, generando empleo y sustento para las comunidades costeras (MPCEIP, 2020). De hecho, la pesca del dorado representa alrededor del 40% de la flota pesquera artesanal ecuatoriana, con 11.612 embarcaciones registradas (Cedeño, 2021).

Los volúmenes de desembarque del dorado alcanzan alrededor de 16.000 toneladas anuales, siendo los más altos en comparación con otras especies pelágicas grandes capturadas por la pesquería de nodrizas de palangre de superficie a la deriva (Araujo & Cedeno-Macias, 2016; Cevallos & Pincay, 2022). La pesca del dorado tiene un impacto socioeconómico significativo en Ecuador. Según datos del Sistema Integrado de Acuicultura y Pesca (SIAP), en el país hay 28.510 pescadores artesanales dedicados a la extracción y comercialización de esta especie (Cedeño, 2021). El Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) estima que alrededor del 70% de estos pescadores capturan dorado, atraídos por su alto valor comercial (El Comercio, 2015). En consecuencia, la industria del dorado da trabajo a aproximadamente 19.957 pescadores artesanales en Ecuador.

## Retos

### Falta de objetivos claros basados en los ecosistemas

Uno de los principales obstáculos para el avance en la implementación del enfoque ecosistémico de la pesca radica en que las directrices de gestión carecen de objetivos e indicadores explícitos fundamentados en los ecosistemas. Desarrollar y acordar indicadores adecuados para la adopción de este enfoque llevará tiempo, especialmente en ausencia de directrices internacionalmente aprobadas por los organismos responsables de la gestión (Shen & Song, 2023). Los tomadores de decisiones se encuentran en una encrucijada, ya que buscan la sostenibilidad de los recursos hidrobiológicos y la estabilidad del ecosistema, pero sus economías dependen en gran medida de los recursos pesqueros y de la cohesión social de sus comunidades. Esto a menudo conduce a que estos países otorguen prioridad a las demandas de los pescadores por sobre las recomendaciones de los comités científicos nacionales. En este contexto, la adopción de medidas y políticas destinadas a la protección de los ecosistemas puede requerir sacrificios de beneficios a corto plazo en aras de la sostenibilidad

a largo plazo de todos los recursos pertinentes, lo que crea una falta de incentivos para establecer objetivos claros basados en los ecosistemas (Shen & Song, 2023). Los esquemas de certificación pesquera, como el Marine Stewardship Council (MSC), han evolucionado significativamente en los últimos años, ampliando su alcance para abarcar una visión más holística de la sostenibilidad. Esta transformación refleja la creciente complejidad y amplitud de los programas de certificación, que van más allá de la simple evaluación del estado biológico de las poblaciones de peces, incorporando dimensiones ecológicas, sociales y económicas (Bundy *et al.*, 2017; Van Putten *et al.*, 2020; Wakamatsu & Wakamatsu, 2017).

En la dimensión ecológica se considera el impacto de la pesca en los ecosistemas marinos, incluyendo la protección de la biodiversidad, la salud de los hábitats y la minimización de la captura incidental de especies no objetivo (Christian *et al.*, 2013; Hønneland, 2020). En la dimensión social se evalúan los aspectos sociales de la pesquería, incluyendo los derechos de las comunidades pesqueras, la distribución equitativa de los beneficios y la seguridad laboral en el sector (Nyiawung *et al.*, 2021; Oloruntuyi *et al.*, 2023). Asimismo, en la dimensión económica se analiza la viabilidad económica a largo plazo de la pesquería, considerando la eficiencia de las operaciones, la transparencia financiera y la equidad en la distribución de los ingresos (Stoll & Johnson, 2015; Peiró-Signes *et al.*, 2020).

Entre los beneficios de la certificación holística de la certificación MSC podemos encontrar una gestión pesquera más sostenible, en donde se promueven prácticas pesqueras que no solo aseguran la salud de las poblaciones de peces, sino que también protegen los ecosistemas marinos, garantizan el bienestar de las comunidades pesqueras y contribuyen a la sostenibilidad económica de la actividad (Anderson *et al.*, 2021; Duggan & Kochen, 2016). Además, se promueve una mayor transparencia y responsabilidad, en donde, los programas de certificación fomentan la transparencia en la gestión pesquera, permitiendo a los consumidores tomar decisiones informadas sobre sus compras y a las autoridades identificar áreas de mejora (Bear & Eden, 2008; Foley & Havice, 2016). Asimismo, facilita el acceso a mercados internacionales, en donde la certificación abre las puertas a estos mercados que valoran productos pesqueros

provenientes de pesquerías sostenibles, generando mayores oportunidades comerciales para el sector (Le Manach et al., 2020; Roheim & Zhang, 2018).

La certificación MSC para la pesquería de dorado en Ecuador no solo representa un logro para el sector pesquero, sino que también es una victoria para la conservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades locales. La última evaluación externa arrojó resultados positivos, indicando que se ha alcanzado el cumplimiento del 84% de los requisitos del estándar MSC. Este hito marca un precedente importante para la pesca sostenible en el país y demuestra el compromiso de Ecuador con la gestión responsable de sus recursos marinos (Villón & Gómez 2019).

El Plan de Acción Nacional para la Conservación y Manejo del Recurso Dorado en Ecuador (PAN Dorado) 2019-2024 ha sido fundamental para alcanzar este logro. Este plan integral, compuesto por cuatro componentes, ha guiado los esfuerzos hacia la sostenibilidad de la pesquería de dorado:

1. Manejo, gobierno y sostenibilidad financiera: Este componente establece un marco sólido para la gestión efectiva de la pesquería, asegurando su viabilidad económica a largo plazo.
2. Seguimiento, Control y Vigilancia: Se implementan medidas robustas para monitorear las actividades pesqueras, prevenir la pesca ilegal y garantizar el cumplimiento de las regulaciones.
3. Educación, extensión y comunicación: Se promueve la sensibilización y el conocimiento entre las comunidades pesqueras, autoridades y consumidores sobre la importancia de la pesca sostenible.
4. Investigación y desarrollo: Se fomenta la investigación científica para comprender mejor la biología y ecología del dorado, así como para desarrollar prácticas pesqueras aún más sostenibles (Villón & Gómez 2019).

### Información científica limitada sobre las especies asociadas y el medio ambiente

La carencia de conocimientos exhaustivos sobre el ecosistema, en particular debido a datos insuficientes y a un conocimiento limitado de las redes tróficas y las relaciones tróficas, representa un desafío significativo para la modelización del Enfoque de Manejo Basado en el Ecosistema (EAFM). La mayoría de los datos se recopilan a través de registros obtenidos mediante entrevistas en los puertos

pesqueros o mediante observadores a bordo. Aunque teóricamente podrían recopilarse datos de manera diferente utilizando monitores electrónicos y observadores electrónicos, esta práctica es poco común entre los barcos pesqueros debido a la necesidad de tecnología avanzada y los costos asociados. Además, a pesar de los requisitos de notificación de datos sobre especies objetivo y especies clave de captura accidental, no se recopila información completa sobre otros grupos taxonómicos asociados a la actividad pesquera, como quelonios, cetáceos y marsopas, que son igualmente cruciales para mejorar la modelización y el seguimiento de los ecosistemas (Shen & Song, 2023).

### El factor humano que falta

Las empresas pesqueras industriales suelen cumplir con las regulaciones de Salud y Seguridad Ocupacional en el Trabajo y adoptan normas internacionales, garantizando condiciones de trabajo y vida seguras, saludables y justas. La mayoría de los pescadores artesanales carecen de conocimiento sobre estas normativas y el uso de equipos de protección personal (EPP). Por lo que a nivel mundial son comunes los accidentes laborales, lesiones e incluso muertes en el ámbito laboral de esta actividad. Sin embargo, estos datos por lo general no se publican en bases oficiales (Montúfar-Romero *et al.*, 2018).

### Perspectivas

Son varios aspectos por desarrollar con el fin de tener una visión clara del EAFM, señalamos algunos de los objetivos más importantes para incrementar la generación de conocimiento, promover y fomentar la pesquería sustentable del dorado (*C. hippurus*):

#### Hoja de ruta y gestión por zonas:

- Desarrollar una hoja de ruta clara y detallada que guíe la implementación del EAFM, estableciendo objetivos, metas, indicadores y plazos específicos.
- Aplicar herramientas de gestión por zonas, especialmente en áreas con datos e información científica limitados, permitiendo una adaptación flexible a las condiciones locales.

### Cooperación internacional:

- Fomentar la cooperación y colaboración con actores internacionales relevantes, incluyendo organizaciones regionales e intergubernamentales, para compartir conocimientos, experiencias y mejores prácticas en la gestión del dorado.
- Establecer acuerdos internacionales vinculantes para la conservación y el manejo sostenible del dorado, asegurando la protección de la especie a nivel global.

### Recopilación de datos y recomendaciones:

- Reforzar la recopilación de datos sólidos sobre la tasa de captura de las diferentes poblaciones de dorado, utilizando métodos científicos rigurosos y tecnologías de vanguardia.
- Generar recomendaciones, restricciones o modificaciones del arte de pesca en áreas específicas, basándose en datos científicos y considerando tanto las necesidades de la especie como las de los pescadores.

### Investigación sobre la biología y ecología del dorado:

- Profundizar en la comprensión de la demografía, fisiología, utilización del hábitat y necesidades de recursos del dorado, mediante estudios exhaustivos sobre su comportamiento de alimentación, reproducción y migración.
- Incorporar los avances en la investigación científica al marco del EAFM, adaptando las estrategias de gestión en función de nuevos conocimientos.

### Abordaje del cambio climático y las alteraciones ambientales:

- Evaluar y comprender adecuadamente los impactos del cambio climático y las alteraciones en las condiciones ambientales y oceánicas sobre la abundancia, distribución y demografía del dorado.
- Desarrollar estrategias de adaptación y mitigación para abordar los desafíos emergentes derivados del cambio climático, asegurando la resiliencia de la pesquería y los ecosistemas marinos.



### Asignación de recursos financieros:

- Ajustar la asignación de recursos financieros de manera efectiva, priorizando la protección y vigilancia de los puertos pesqueros, especialmente en contextos de limitaciones presupuestarias.
- Explorar mecanismos de financiamiento innovadores, como la creación de fondos de inversión o la colaboración con el sector privado, para apoyar la implementación del EAFM.

### Ecoturismo como alternativa económica:

- Fomentar el desarrollo de programas de ecoturismo responsable en las comunidades costeras donde se encuentra el dorado, proporcionando alternativas económicas sostenibles a las poblaciones locales.
- Implementar estrategias de ecoturismo que minimicen los impactos ambientales y promuevan la conservación del ecosistema marino.

### Incorporación de las ciencias sociales:

- Integrar las ciencias sociales en el estudio y evaluación de las estrategias de conservación del dorado, considerando las dimensiones socioeconómicas, culturales e institucionales que influyen en la gestión pesquera.
- Actualizar los marcos legales y socioeconómicos relacionados con la pesca del dorado, reflejando los conocimientos y perspectivas de las ciencias sociales.

### Desarrollo de objetivos ecosistémicos:

- Establecer objetivos ecosistémicos específicos y cuantificables para la gestión del dorado, considerando las interdependencias entre la especie y los demás componentes del ecosistema marino.
- Superar el reto de la falta de objetivos ecosistémicos específicos en la aplicación del EAFM, asegurando un enfoque holístico y sostenible para la gestión pesquera.

## CONCLUSIONES

La falta de objetivos claros basados en el ecosistema, las limitaciones de la información científica sobre las especies, la poca atención a los factores humanos y la falta de incentivos para adoptar el EAFM dificultan la aplicación de este enfoque en Ecuador. La sostenibilidad no puede lograrse a menos que se preste la debida atención a los recursos pesqueros, las especies asociadas, los hábitats, el medio marino, así como a la dimensión socioeconómica de forma justa y equitativa.

## REFERENCIAS

- Akiba, O. (1997). Policy issues, and challenges in Canadian management of the Atlantic fisheries. *Environmental conservation*, 24(2), 159-167. <https://doi.org/10.1017/S0376892997000222>
- Albartin, S. A. (2019). Analysis of institutional development strategy for Sasi on Ambon Island, Indonesia. *AACL Bioflux*, 12(4), 1134-1141.
- Alejo-Plata, C. Gómez, J. L., & Serrano-Guzmán, S. J. (2014). Variabilidad en la abundancia relativa, estructura por tallas y proporción de sexos del dorado *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) en el Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 627-636. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000100017&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000100017&lng=es&tlng=es).
- Alfaro-Núñez, A., Astorga, D., Cáceres-Farias, L., Bastidas, L., Villegas, C. S., Macay, K., Christensen, J. H. (2021). Microplastic pollution in seawater and marine organisms across the Tropical Eastern Pacific and Galápagos. *Scientific Reports*, 11(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85939-3>
- Anderson, C., Himes-Cornell, A., Pita, C., Arton, A., Favret, M., Averill, D., ... & Longo, C. (2021). Social and economic outcomes of fisheries certification: characterizing pathways of change in canned fish markets. *Frontiers in Marine Science*, 8, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.791085>

- Andraka, S., Mug, M., Hall, M., Pons, M., Pacheco, L., Parrales, M., ... & Vogel, N. (2013). Circle hooks: Developing better fishing practices in the artisanal longline fisheries of the Eastern Pacific Ocean. *Biological Conservation*, 160, 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.01.019>
- Araujo, C., & Cedeno-Macias, L. (2016). Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment*, 541, 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.090>
- Arocha, F., Marcano, L., Lárez, A., Altuve, D. & Alló, J.J. (1999). The fishery, demographic size structure and oocyte development of Dolphin Fish, *Coryphaena hippurus*, in Venezuela and adjacent waters. *Scientia Marina*, 63(3-4), 401-409. <https://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/article/view/873>
- Auld, K., Baumler, R., Han, D. P., & Neat, F. (2023). The collective effort of the United Nations Specialised Agencies to tackle the global problem of illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing. *Ocean & Coastal Management*, 243, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106720>
- Authman, M. M., Zaki, M. S., Khallaf, E. A., & Abbas, H. H. (2015). Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 6(4), 1-13.
- Azevedo-Santos, V., Goncalves, G., Manoel, P., Andrade, M., Lima, F., & Pelicice, F. (2019). Plastic ingestion by fish: A global assessment. *Environmental Pollution*, 255, 2. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.112994>
- Baalkhuyur, F., Bin Dohaish, E., Elhalwagy, M., Alikunhi, N., AlSuwailem, A., Rostad, A., . . . Duarte, C. (2019). Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 407-415. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.015>

- Bear, C., & Eden, S. (2008). Making space for fish: the regional, network and fluid spaces of fisheries certification. *Social & Cultural Geography*, 9(5), 487-504. <https://doi.org/10.1080/14649360802224358>
- Beddington, J. R., & May, R. M. (1977). Harvesting natural populations in a randomly fluctuating environment. *Science*, 197(4302), 463-465. <https://doi.org/10.1126/science.197.4302.46>
- Bera, T., Kumar, S., Devi, M., Kumar, V., Behera, B., & Das, B. (2022). Effect of heavy metals in fish reproduction: A review. *Journal of Environmental Biology*, 43(5), 631-642.
- Bignami, S., Sponaugle, S., & Cowen, R. K. (2014). Effects of ocean acidification on the larvae of a high-value pelagic fisheries species, mahi-mahi *Coryphaena hippurus*. *Aquatic Biology*, 21:249–260. <https://doi.org/10.3354/ab00598>
- Bonner, A., Duarte, M., Souza, R., Monteiro-Neto, C., & Silva, E. (2017). Taxonomic status of two morphotypes of *Coryphaena hippurus* (Perciformes: Coryphaenidae) [Article]. *Neotropical Ichthyology*, 15(1), 1-8. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160102>
- Bundy, A., Chuenpagdee, R., Boldt, J., de Fatima Borges, M., Camara, M., Coll, M., ... & Shin, Y. (2017). Strong fisheries management and governance positively impact ecosystem status. *Fish and Fisheries*, 18(3), 412-439.
- Cáceres-Farias, L., Espinoza-Vera, M. M., Garcia-Bereguian, M. A., Orós, J., Alfaro-Núñez, A. (2023). Macro and microplastic intake in seafood varies by the marine organism's feeding behaviour: Is it a concern to human health?. *Heliyon*, 9, E16452. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16452>
- Campbell, L. M., Gray, N. J., Fairbanks, L., Silver, J. J., Gruby, R. L., Dubik, B. A., & Basurto, X. (2016). Global oceans governance: New and emerging issues. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, 517-543. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021121>

- Castriota, L., Pipitone, C., Campagnuolo, S., Romanelli, M., Potoschi, A., & Andaloro, F. (2007). Diet of *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) associated with FADs in the Ionian and Southern Tyrrhenian Seas. *Cybium*, 31(4), 435-441.
- Cedeño, C. (2021). *Programa de fortalecimiento de las capacidades del sector pesquero artesanal*. Ministerio de la Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/PROGRAMA-DE-FORTALECIMIENTO-DE-LAS-CAPACIDADES-DEL-SECTOR-PESQUERO-ARTESANAL-1.pdf>
- Cevallos V., & Pincay J. (2022). Plan de Acción Nacional para la Conservación y el Manejo del Recurso Dorado en Ecuador (PAN Dorado). Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. [https://srp.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/PLAN-DE-ACCI%C3%93N-NACIONAL-PARA-LA-CONSERVACI%C3%93N-Y-EL-MANEJO-DEL-RECURSO-DORADO-EN-ECUADOR\\_compressed.pdf](https://srp.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/PLAN-DE-ACCI%C3%93N-NACIONAL-PARA-LA-CONSERVACI%C3%93N-Y-EL-MANEJO-DEL-RECURSO-DORADO-EN-ECUADOR_compressed.pdf).
- Chang, S., DiNardo, G., Farley, J., Brodziak, J., & Yuan, Z. (2013). Possible stock structure of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in Taiwan coastal waters and globally based on reviews of growth parameters. *Fisheries Research*, 147, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.05.003>
- Christian, C., Ainley, D., Bailey, M., Dayton, P., Hocevar, J., LeVine, M., ... & Jacquet, J. (2013). A review of formal objections to Marine Stewardship Council fisheries certifications. *Biological Conservation*, 161, 10-17.
- Chuenpagdee, R., Jentoft, S. Transforming the governance of small-scale fisheries. *Maritime Studies* 17, 101–115 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40152-018-0087-7>
- Cleghorn, J. (2023). On the fluctuations in the herring fisheries. In *British Politics and the Environment in the Long Nineteenth Century* (pp. 113-117). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003194651>
- Cohen, P. J., Evans, L. S., & Mills, M. (2012). Social networks supporting governance of coastal ecosystems in Solomon Islands. *Conservation Letters*, 5(5), 376-386. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00255.x>

- Crossley, D., Stieglitz, J., Benetti, D., & Grosell, M. (2021). The effects of acute temperature change and digestive status on in situ cardiac function in mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*). *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology*, 255, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2021.110915>
- Cucuzza, M., Stoll, J., & Leslie, H. (2021). Evaluating the theoretical and practical linkages between ecosystem-based fisheries management and fisheries co-management. *Marine Policy*, 126, 10, 104390. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104390>
- Damiano, S., Papetti, P., & Menesatti, P. (2011). Accumulation of heavy metals to assess the health status of swordfish in a comparative analysis of Mediterranean and Atlantic areas. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1920-1925. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.028>
- Diaz-Jaimes, P., Uribe-Alcocer, M., Rocha-Olivares, A., Garcia-de-Leon, F., Nortmoon, P., & Durand, J. (2010). Global phylogeography of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*): The influence of large effective population size and recent dispersal on the divergence of a marine pelagic cosmopolitan species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 57(3), 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.10.005>
- Drevnick, P., Lamborg, C., & Horgan, M. (2015). Increase in mercury in Pacific Yellowfin Tuna. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(4), 931-934. <https://doi.org/10.1002/etc.2883>
- Duarte-Neto, P., Lessa, R., Stosic, B., & Morize, E. (2008). The use of sagittal otoliths in discriminating stocks of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) off northeastern Brazil using multishape descriptors. *Ices Journal of Marine Science*, 65(7), 1144-1152. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn090>
- Duggan, D. E., & Kochen, M. (2016). Small in scale but big in potential: Opportunities and challenges for fisheries certification of Indonesian small-scale tuna fisheries. *Marine Policy*, 67, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.01.008>

- Bigagli, E. (2016). The international legal framework for the management of the global oceans social-ecological system. *Marine Policy*, 68, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.005>
- El Comercio. (2015). *Pesca del pez dorado mueve la economía del sector pesquero en Esmeraldas*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/pesca-pezdorado-economia-esmeraldas.html>
- Eriksen, M., Lebreton, L., Carson, H., Thiel, M., Moore, C., Borerro, J., . . . Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *Plos One*, 9(12), 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Evans, D. O., Warren, G. J., & Cairns, V. W. (1990). Assessment and management of fish community health in the Great Lakes: synthesis and recommendations. *Journal of Great Lakes Research*, 16(4), 639-669. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(90\)71455-4](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(90)71455-4)
- Farrell, E., Boustany, A., Halpin, P., & Hammond, D. (2014). Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) distribution in relation to biophysical ocean conditions in the northwest Atlantic. *Fisheries Research*, 151, 177-190. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.11.014>
- Fennell, L. (2011). Ostrom's Law: Property Rights in the Commons. *The International Journal of the Commons*, 5(1), 9-27. <https://doi.org/10.18352/IJC.252>
- Ferreira, J. C., & Martins, A. L. (2019). Edge computing approach for vessel monitoring system. *Energies*, 12(16), 1-15. <https://doi.org/10.3390/en12163087>
- Foley, P., & Havice, E. (2016). The rise of territorial eco-certifications: New politics of transnational sustainability governance in the fishery sector. *Geoforum*, 69, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.11.015>
- Fitzpatrick, M., Graham, N., Rihan, D., & Reid, D. (2011). The burden of proof in co-management and results-based management: the elephant on the deck!. *ICES*

*Journal of Marine Science*, 68(8), 1656-1662.  
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr098>

Fujii, I., Okochi, Y., & Kawamura, H. (2021). Promoting cooperation of monitoring, control, and surveillance of IUU fishing in the Asia-Pacific. *Sustainability*, 13(18), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su131810231>

Garcia, S. M., & Cochrane, K. L. (2005). Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 311-318.

Gatt, M., Dimech, M., & Schembri, P. (2015). Age, Growth and Reproduction of *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) in Maltese Waters, Central Mediterranean. *Mediterranean Marine Science*, 16(2), 334-345. <https://doi.org/10.12681/mms.706>

Ghosh, S., Mamidi, S., Munivenkatappa, M., Rohit, P., Median, A. , & Achamveetil, G. (2021). Observations on feeding habits of the common dolphinfish, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus 1758) from the western Bay of Bengal. *Aquatic Living Resources*, 34, 24.

Hanachi, P., Karbalaei, S., Walker, T., Cole, M., & Hosseini, S. (2019). Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), 23777-23787. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05637-6>

Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162 (3859), 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>

Hey, E. (1992). A healthy north sea ecosystem and a healthy north sea fishery: Two sides of the same regulation? *Ocean Development & International Law*, 23(2-3), 217-238. <https://doi.org/10.1080/00908329209545985>

Hønneland, G. (2020). Marine Stewardship Council (MSC) Certification of Arctic Fisheries. *Arctic Review on Law and Politics*, 11, 133-156. <https://doi.org/10.23865/arctic.v11.2488>



- IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Ivesa, N., Piria, M., Gelli, M., Trnski, T., Spelic, I., Radocaj, T., . . . Gavrilovic, A. (2021). Feeding Habits of Predatory Thermophilic Fish Species and Species with Subtropical Affinity from Recently Extended Distributional Range in Northeast Adriatic Sea, Croatia. *Diversity-Basel*, 13(8), 1-17. <https://doi.org/10.3390/d13080357>
- Jackson, J. B., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., ... & Warner, R. R. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293(5530), 629-637. <https://doi.org/10.1126/science.105919>
- Jakimska, A., Konieczka, P., Skóra, K., & Namieśnik, J. (2011). Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, Part I: The role and impact of heavy metals on organisms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(5).
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., . . . Law, K. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jennings, S. (2004). The ecosystem approach to fishery management. *Marine Ecology Progress Series*, 274, 279-282.
- Jennings, S., & Dulvy, N. K. (2005). Reference points and reference directions for size-based indicators of community structure. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.07.030>
- Jentoft, S. (2007). Limits of governability: Institutional implications for fisheries and coastal governance. *Marine Policy*, 31(4), 360-370. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2006.11.003>

- Keeling, R., Körtzinger, A., & Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annual Review of Marine Science*, 2, 199-229. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163855>
- Kingsford, M. J., & Defries, A. (1999). The ecology of and fishery for *Coryphaena* spp. in the waters around Australia and New Zealand. *Scientia Marina*, 63(3-4), 267-275. <https://doi.org/10.3989/scimar.1999.63n3-4277>
- Kirby, A., Cox, G., Nelson, D., Heuer, R., Stieglitz, J., Benetti, D., . . . Crossley, D. (2019). Acute crude oil exposure alters mitochondrial function and ADP affinity in cardiac muscle fibers of young adult Mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*). *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology*, 218, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.01.004>
- Kojadinovic, J., Potier, M., Le Corre, M., Cosson, R., & Bustamante, P. (2006). Mercury content in commercial pelagic fish and its risk assessment in the Western Indian Ocean. *Science of the Total Environment*, 366(2-3), 688-700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.006>
- Kyvelou, S. S., Ierapetritis, D. G., & Chiotinis, M. (2023). The Future of Fisheries Co-Management in the Context of the Sustainable Blue Economy and the Green Deal: There Is No Green without Blue. *Sustainability*, 15(10), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su15107784>
- Lau, G., Cox, G., Stieglitz, J., Benetti, D., & Grosell, M. (2020). Temperature sensitivity differs between heart and red muscle mitochondria in mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*). *Scientific Reports*, 10(1), 1-8, Article 14865. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71741-0>
- Le Manach, F., Jacquet, J. L., Bailey, M., Jouanneau, C., & Nouvian, C. (2020). Small is beautiful, but large is certified: A comparison between fisheries the Marine Stewardship Council (MSC) features in its promotional materials and MSC-certified fisheries. *PLOS ONE*, 15(5), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231073>
- Lennert-Cody, C., Moreno, G., Restrepo, V., Roman, M., & Maunder, M. (2018). Recent purse-seine FAD fishing strategies in the eastern Pacific Ocean: what is

the appropriate number of FADs at sea?. *Ices Journal of Marine Science*, 75(5), 1748-1757. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy046>

Lezama-Ochoa, N., Murua, H., Hall, M., Roman, M., Ruiz, J., Vogel, N., . . . Sancristobal, I. (2017). Biodiversity and Habitat Characteristics of the Bycatch Assemblages in Fish Aggregating Devices (FADs) and School Sets in the Eastern Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 4, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00265>

Li, W., Pan, Z., Xu, J., Liu, Q., Zou, Q., Lin, H., . . . Huang, H. (2022). Microplastics in a pelagic dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) from the Eastern Pacific Ocean and the implications for fish health. *Science of the Total Environment*, 809, 11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151126>

Li, W., Xu, J., & Zheng, M. (2018). Green governance: New perspective from open innovation. *Sustainability*, 10(11), 3845. <https://doi.org/10.3390/su10113845>

Leonart, J., Franquesa, R., Salat, J., & Oliver, P. (1996). "Heures" a bio-economic model for Mediterranean fisheries, towards an approach for the evaluation of management strategies. *Scientia Marina*. 60(2-3), 427-430.

Lloor-Bravo, G., Sánchez-Moreira, J., Pico-Lozano, E. X. & Mendoza-Nieto, K. (1999). Evaluación de la presencia de mercurio en pez espada, *Xiphias gladius*, desembarcado en el puerto de Manta, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 1256-1270. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1367>

Maggio, T., Allegra, A., Andaloro, F., Barreiros, J., Battaglia, P., Butler, C., . . . Sinopoli, M. (2019). Historical separation and present-day structure of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) populations in the Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. *Ices Journal of Marine Science*, 76(4), 1028-1038. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy174>

Magnuson, J., Stieglitz, J., Garza, S., Benetti, D., Grosell, M., & Roberts, A. (2020). Development of visual function in early life stage mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) [Article]. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 53(5-6), 203-214. <https://doi.org/10.1080/10236244.2020.1804300>

- Marengo, M., Durieux, E., Marchand, B., & Francour, P. (2014). A review of biology, fisheries and population structure of *Dentex dentex* (Sparidae). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(4), 1065-1088. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9363-9>
- Maroso, F., Franch, R., Dalla, G., Arculeo, M., & Bargelloni, L. (2016). RAD SNP markers as a tool for conservation of dolphinfish *Coryphaena hippurus* in the Mediterranean Sea: Identification of subtle genetic structure and assessment of populations sex-ratios. *Marine Genomics*, 28, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2016.07.003>
- Martinez, J. (2017). *II Taller de Evaluación del Proyecto de Mejoramiento Pesquero del Dorado*. Conservation Mahi Mahi. <https://conservationmahimahi.org/2017/03/13/ii-taller-de-evaluacion-del-proyecto-de-mejoramiento-pesquero-del-dorado/>
- Massuti, E., & Moralesnin, B. (1995). Seasonality and reproduction of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western mediterranean. *Scientia Marina*, 59(3-4), 357-364. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(96\)00562-0](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(96)00562-0)
- Massuti, E., & MoralesNin, B. (1997). Reproductive biology of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) off the island of Majorca (western Mediterranean). *Fisheries Research*, 30(1-2), 57-65. [https://doi.org/10.1016/s0165-7836\(96\)00562-0](https://doi.org/10.1016/s0165-7836(96)00562-0)
- Merten, W., Appeldoorn, R., & Hammond, D. (2014). Spatial differentiation of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) movements relative to the Bahamian archipelago. *Bulletin of Marine Science*, 90(3), 849-864. <https://doi.org/10.5343/bms.2013.1078>
- Migliarini, B., Campisi, A., Maradonna, F., Truzzi, C., Annibaldi, A., Scarponi, G., & Carnevali, O. (2005). Effects of cadmium exposure on testis apoptosis in the marine teleost *Gobius niger*. *General and Comparative Endocrinology*, 142(1-2), 241-247.
- Molto, V., Hernandez, P., Sinopoli, M., Besbes-Benseddik, A., Besbes, R., Mariani, A., . . . Catalan, I. (2020). A Global Review on the Biology of the Dolphinfish

(*Coryphaena hippurus*) and Its Fishery in the Mediterranean Sea: Advances in the Last Two Decades. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(3), 376-420. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1757618>

Montúfar-Romero, M. , Avendaño Villamar, U. , Ruiz Chóez, E., Icaza Torres, X. , & Alta Tierra, A. (2018). Prevención de riesgos laborales en la maricultura artesanal de Ecuador. *Ciencia Digital*, 2(2), 405-423. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i2.106>

Moore, C. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>

MPCEIP. (2020). El dorado: un camino hacia la sostenibilidad. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. <https://www.produccion.gob.ec/el-dorado-un-camino-hacia-la-sostenibilidad/>

MPCEIP. (2024). Informe de gestión institucional 2023. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/04/INFORME-DE-GESTION-MPCEIP-2023.pdf>

Nelson, D., Heuer, R., Cox, G., Stieglitz, J., Hoenig, R., Mager, E., . . . Crossley, D. (2016). Effects of crude oil on *in situ* cardiac function in young adult mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*). *Aquatic Toxicology*, 180, 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.10.012>

Nyjawung, R. A., Raj, A., & Foley, P. (2021). Marine Stewardship Council sustainability certification in developing countries: Certifiability and beyond in Kerala, India and the Gambia, West Africa. *Marine Policy*, 129, 104526. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104526>

Oloruntuyi, O., Barendse, J., Marriott, M., Gordon, A. K., & Montero-Castaño, C. (2023). Pathway to sustainability: the Marine Stewardship Council certification standard as an improvement framework for African fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1042736. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1042736>

- Onsanit, S., Chen, M., Ke, C., & Wang, W. (2012). Mercury and stable isotope signatures in caged marine fish and fish feeds. *Journal of Hazardous Materials*, 203, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.11.021>
- Ortega-Garcia, S., Perle, C., Whitney, N., Rodriguez-Sanchez, R., O'Sullivan, J., & Koch, S. (2022). Vertical distributions of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the Eastern Pacific Ocean suggest variability in potential associations with floating objects. *Plos One*, 17(11), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276873>
- Oxenford, H. (1999). Biology of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic: a review. *Scientia Marina*, 63(3-4), 277-301. <https://doi.org/10.3989/scimar.1999.63n3-4303>
- Peiró-Signes, A., Miret-Pastor, L., & Segarra-Oña, M. (2020). Effects of green certification and labelling on the Spanish fisheries industry. *Aquaculture reports*, 17, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100396>
- Phayal, A., Gold, A., Maharani, C., Palomares, M. L. D., Pauly, D., Prins, B., & Riyadi, S. (2024). All maritime crimes are local: Understanding the causal link between illegal fishing and maritime piracy. *Political Geography*, 109, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2024.103069>
- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., ... & Sainsbury, K. J. (2004). Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305(5682), 346-347. <https://doi.org/10.1126/science.1098222>
- Pitman, R., & Stinchcomb, C. (2002). Rough-Toothed Dolphins (*Steno bredanensis*) as Predators of Mahimahi (*Coryphaena hippurus*). *Pacific Science*, 56, 447-450.
- Provot, Z., Mahévas, S., Tissièrè, L., Michel, C., Lehuta, S., & Trouillet, B. (2020). Using a quantitative model for participatory geo-foresight: ISIS-Fish and fishing governance in the Bay of Biscay. *Marine Policy*, 117, 103231. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.015>

- Roheim, C. A., & Zhang, D. (2018). Sustainability certification and product substitutability: Evidence from the seafood market. *Food Policy*, 79, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.06.002>
- Ruelas-Inzunza, J., Soto-Jimenez, M., Ruiz-Fernandez, A., Ramos-Osuna, M., Mones-Saucedo, J., & Paez-Osuna, F. (2014). Po-210, Cd and Pb distribution and biomagnification in the yellowfin tuna *Thunnus albacares* and skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* from the Eastern Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 87(1-2), 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.006>
- Sacco, F., Marrone, F., Lo Brutto, S., Besbes, A., Nfati, A., Gatt, M., . . . Arculeo, M. (2017). The Mediterranean Sea hosts endemic haplotypes and a distinct population of the dolphinfish *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Perciformes, Coryphaenidae). *Fisheries Research*, 186, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.08.021>
- Santana-Piñeros, A. M., Cruz-Quintana, Y., May-Tec, A. L., Mera-Loor, G., Aguirre-Macedo, M. L., Suárez-Morales, E., & González-Solis, D. (2020). The 2015-2016 El Niño increased infection parameters of copepods on Eastern Tropical Pacific dolphinfish populations. *PLoS ONE*, 15(5), e0232737. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232737>
- Santana-Piñeros, A. M., Mera-Loor, G., Suárez-Morales, E., González-Solis, D., & Cruz-Quintana, Y. (2022). Persistent companionships: The parasitic copepod community of the dolphinfish *Coryphaena hippurus* on the Ecuadorian coast. *Invertebrate Biology*, 141(3), e12378. <https://doi.org/10.1111/ivb.12378>
- Schlenker, L., Welch, M., Mager, E., Stieglitz, J., Benetti, D., Munday, P., & Grosell, M. (2019). Exposure to Crude Oil from the Deepwater Horizon Oil Spill Impairs Oil Avoidance Behavior without Affecting Olfactory Physiology in Juvenile Mahi-Mahi (*Coryphaena hippurus*). *Environmental Science & Technology*, 53(23), 14001-14009. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05240>
- Schwenke, K., & Buckel, J. (2008). Age, growth, and reproduction of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) caught off the coast of North Carolina. *Fishery Bulletin*, 106(1), 82-92.

- Sebille, V., Aliani, S., Law, K., Maximenko, N., Alsina, J., Bagaev, A., . . . Wichmann, D. (2020). The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environmental Research Letters*, 15(2), 1-32. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>
- Shen, H., & Song, L. (2023). Implementing Ecosystem Approach to Fisheries Management in the Western and Central Pacific Fisheries Commission: Challenges and Prospects. *Fishes*, 8(4), 16, Article 198. <https://doi.org/10.3390/fishes8040198>
- Sherman, K. (2015). Sustaining the world's large marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 72(9), 2521-2531. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv136>
- SRP. (2011). Acuerdo ministerial No. 070 que regula la pesca del dorado, *Coryphaena hippurus*, en la costa ecuatoriana. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, Subsecretaría de Recursos Pesqueros, Manta, Ecuador. Registro Oficial 19 mayo 2011.
- Stephenson, R. L., Paul, S., Wiber, M., Angel, E., Benson, A. J., Charles, A., ... & Sumaila, U. R. (2018). Evaluating and implementing social–ecological systems: a comprehensive approach to sustainable fisheries. *Fish and Fisheries*, 19(5), 853-873. <https://doi.org/10.1111/faf.12296>
- Stieglitz, J., Mager, E., Hoenig, R., Benetti, D., & Grosell, M. (2016). Impacts of Deepwater Horizon crude oil exposure on adult mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) swim performance [Article]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(10), 2613-2622. <https://doi.org/10.1002/etc.3436>
- Stoker G. 1998 Governance as theory: five propositions. *International Social Science Journal* 50(155): 17–28. <https://doi.org/10.1111/1468-2451.00106>
- Stoll, J. S., & Johnson, T. R. (2015). Under the banner of sustainability: the politics and prose of an emerging US federal seafood certification. *Marine Policy*, 51, 415-422. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.09.027>



- Stramma, L., Prince, E. D., Schmidtko, S., Luo, J., Hoolihan, J. P., Visbeck, M., ... & Körtzinger, A. (2012). Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, 2(1), 33-37. <https://doi.org/10.1038/nclimate1304>
- Taquet, M., Reynal, L., & Laurans, M. (2000). Do FADs influence the geographical distribution of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*)?. In Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons, *Caribbean-Martinique*, 15-19 Oct 1999.
- Teneva, L., Strong, A. L., Agostini, V., Bagstad, K. J., Drakou, E. G., Ancona, Z., ... & Jickling, N. (2022). Estimating the pelagic ocean's benefits to humanity can enhance ocean governance. *Marine Policy*, 136, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104906>
- Townsend, R. E. (1998). Beyond ITOs: property rights as a management tool. *Fisheries Research*, 37(1-3), 203-210. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(98\)00137-4](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(98)00137-4)
- Tugores, M., Giannoulaki, M., Iglesias, M., Bonanno, A., Ticina, V., Leonori, I., . . . Valavanis, V. (2011). Habitat suitability modelling for sardine *Sardina pilchardus* in a highly diverse ecosystem: the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 443, 181-205. <https://doi.org/10.3354/meps09366>
- Van Putten I, Longo C, Arton A, Watson M, Anderson CM, Himes-Cornell A, et al. (2020) Shifting focus: The impacts of sustainable seafood certification. *PLoS ONE* 15 (5): e0233237. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233237>
- Varela, L., Lucas-Pilozo, C., Gonzalez-Duarte, M. (2017). Diet of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the Pacific coast of Ecuador. *Journal of Marine Biology Research*, 97(1), 207-213. <https://doi.org/10.1017/S0025315416000175>
- Villarreal de la Torre, D., Sánchez-Moreira, J., & Cañarte-Pin, J. (2016). Comparación y valoración de mercurio (Hg) y Cadmio (Cd) en la especie Dorado (*Coryphaena hippurus*) que se consume en Manta, Ecuador. *La Técnica*, 16, 32-43.

- Villón, C., & Gómez, W. (2019). Plan de acción nacional para la conservación y el manejo del recurso dorado en Ecuador (PAN Dorado) 2019-2024. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. [https://srp.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/PLAN-DE-ACCI%C3%93N-NACIONAL-PARA-LA-CONSERVACI%C3%93N-Y-EL-MANEJO-DEL-RECURSO-DORADO-EN-ECUADOR\\_compressed.pdf](https://srp.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/PLAN-DE-ACCI%C3%93N-NACIONAL-PARA-LA-CONSERVACI%C3%93N-Y-EL-MANEJO-DEL-RECURSO-DORADO-EN-ECUADOR_compressed.pdf) (Revisado el 13 de junio de 2024).
- Wakamatsu, M., & Wakamatsu, H. (2017). The certification of small-scale fisheries. *Marine Policy*, 77, 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.12.016>
- Wang, Y., Su, T., & Zhang, S. (2019). Multi-line acquisition with delay multiply and sum beamforming in phased array ultrasound imaging, validation of simulation and in vitro. *Ultrasonics*, 96, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2019.02.004>
- Watts, A., Urbina, M., Goodhead, R., Moger, J., Lewis, C., & Galloway, T. (2016). Effect of Microplastic on the Gills of the Shore Crab *Carcinus maenas*. *Environmental Science & Technology*, 50(10), 5364-5369. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01187>
- Whoriskey, S., Arauz, R., & Baum, J. (2011). Potential impacts of emerging mahi-mahi fisheries on sea turtle and elasmobranch bycatch species. *Biological Conservation*, 144(6), 1841-1849. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.03.021>



# Caracterización de las actividades productivas de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farías”

## Characterization of the productive activities of the Cooperative Society “Pescadores de Gómez Farías”

Aurora Berenice Gutiérrez Cedillo<sup>1,2</sup>, J. Guadalupe Michel Parra<sup>2</sup>,  
Oziel Dante Montañez Valdez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur, Maestría en Administración de Negocios, Ciudad Guzmán, Jalisco, México

<sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur, Centro de Investigación Lago de Zapotlán y Cuencas, Ciudad Guzmán, Jalisco, México

Aurora Berenice Gutiérrez Cedillo   auro\_bere15@hotmail.com

Palabras clave | administración de procesos de negocio (BPM), pesca, Laguna de Zapotlán, servicios ecosistémicos

**RESUMEN** | Los humedales proporcionan diferentes servicios ecosistémicos a la humanidad como los servicios de regulación, soporte, aprovisionamiento y/o suministro y culturales. En el sur del estado de Jalisco en México se encuentra la “Laguna de Zapotlán”, en él se realizan diferentes actividades productivas, de descanso, ocio y esparcimiento como la agricultura, ganadería, pesca, artesanías, deportes acuáticos y ecoturismo, que benefician alrededor de 830 familias de la región; por esta razón el objetivo del presente trabajo es caracterizar el proceso productivo de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farías”. El presente estudio se realizó en la “Laguna de Zapotlán” entre los municipios de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Jalisco, México, con los miembros de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farías”, es un estudio descriptivo y analítico, se realizó una entrevista mediante un cuestionario a los miembros de la organización. Como resultados se encontró que la pesca es una actividad artesanal heredada prioritaria, la cual inicia por ser una actividad económica que genera fuente de ingresos y alimentos básicos, sin embargo, algunos pescadores complementan sus ingresos con otras actividades. En

cuanto al proceso productivo de la cooperativa, se identificaron tres procesos generales que son: siembra de alevines, captura de peces y comercialización. El proceso de captura de peces es realizado por todos los miembros de la sociedad cooperativa mediante el arte de pesca de trasmallo con redes agallares, lanchas de fibra de vidrio, así como otros materiales y equipos, además se identificó a tres actores clave: pescadores, encargado de producción y tesorero. En conclusión, el proceso productivo de la Sociedad Cooperativa "Pescadores de Gómez Farías" consta de tres procesos generales debido a la dinámica de la organización; la pesca es un servicio ecosistémico que brinda el humedal a la región que se lleva a cabo de forma artesanal y sustentable para impactar en menor medida al ecosistema.

**Keywords |**  
Business Process  
Management (BPM),  
fishing,  
Laguna de Zapotlán,  
ecosystem services.

**ABSTRACT |** Wetlands provide different ecosystem services to humanity such as regulation, support, provisioning and/or supply and cultural services. In the south of the state of Jalisco in Mexico is located the "Laguna de Zapotlán", in its different productive activities are carried out, of rest, leisure and recreation such as agriculture, livestock, fishing, handicrafts, water sports and ecotourism, that benefit about 830 families of the region; for this reason, the objective of this paper is to characterize the production process of the Cooperative Society "Pescadores de Gómez Farías". It is a descriptive and analytical study, and an interview was conducted through a questionnaire to the members of the organization. As results it was found that fishing is priority inherited artisanal activity which starts as an economic activity that generates a source of income and basic food, however, some fishermen supplement their income with other activities, in terms of the productive process of the cooperative three general processes were identified that are: planting fry, catching fish and marketing. The process of catching fish is carried out by all members of the cooperative society by means of the fishing gear of trasmallo with agallar nets, fiberglass boats, as well as other materials and equipment, in addition three key fishermen, responsible for production and treasurer were identified. In

conclusion, the productive process of the Cooperative Society "Pescadores de Gómez Farías" consists of three general processes due to the dynamics of the organization; fishing is an ecosystem service that provides the wetland to the region that is carried out in a small and sustainable way to impact the ecosystem to a lesser extent.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales son superficies cubiertas por agua temporales o permanentes, naturales y/o artificiales, dulces o saladas (Ramsar, 1994) de importancia ecológica, económica, social, política y cultural por los bienes y servicios ecosistémicos de incalculable valor que generan (Ramsar, 2018).

De acuerdo con EEM (2005) y Russi et al., (2013) estos servicios se clasifican en servicios de aprovisionamiento (suministro de alimentos, material genético, agua, pesca, etc.); servicios de regulación (regulación del clima, calidad del aire, regulación de la erosión, purificación del agua, etc.); servicios culturales (satisfacción espiritual, placer estético, recreación, diversidad cultural, etc.) y servicios de soporte (producción primaria, ciclo de nutrientes, ciclo del agua, etc.).

En el sur del estado de Jalisco en México se encuentra el humedal "Laguna de Zapotlán" que es reconocido a nivel internacional con dos distinciones, la de Sitio Ramsar desde 2005 y Living Lakes (Lago Viviente) en 2018, de acuerdo con Michel et al., (2018), en dicho humedal se realizan diferentes actividades productivas, de descanso, ocio y esparcimiento entre las que destacan agricultura, ganadería, pesca, artesanías, deportes acuáticos y ecoturismo, beneficiando alrededor de 830 familias de la región.

La administración de procesos de negocio (Business Process Management), contribuye a las organizaciones a optimizar y administrar sus procesos, ya que permite detallar las actividades coordinadas dentro de una actividad, para lograr los objetivos de la organización de forma más eficiente y eficaz (Pérez et al., 2017).

Por lo anterior, el objetivo del estudio fue caracterizar el proceso productivo de la Sociedad Cooperativa "Pescadores de Gómez Farías".

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en la “Laguna de Zapotlán” que se encuentra entre los municipios de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Jalisco, México, con los miembros de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farías”, es un estudio descriptivo y analítico (Tamayo, 2009 y Hernández, 2014).

Para recolectar la información se utilizó la técnica de entrevista que, de acuerdo con Tamayo (2009), permite establecer una relación directa con el objeto de estudio por medio de individuos para obtener testimonios orales; esta se llevó a cabo a través de un cuestionario de preguntas abiertas, cerradas y de opción múltiple, a 26 miembros de la sociedad cooperativa que realizan la actividad pesquera cotidianamente, con la finalidad de recolectar la información necesaria para la investigación. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados en Microsoft Excel mediante métodos estadísticos básicos y descriptivos,

De igual forma se utilizó la metodología de Business Process Management (BPM), para realizar el modelado de procesos mediante la técnica de diagrama de flujo en la herramienta Lucidchart.

## RESULTADOS

La pesca realizada por la sociedad cooperativa es una actividad heredada prioritaria, ya que es considerada como una actividad económica que genera una fuente de ingresos para sus familias, el 85% de los pescadores tiene como única fuente de ingresos esta actividad y, el 15% restante, la complementan con actividades como albañilería, ganadería, hortalizas o trabajo de campo.

Los miembros de la sociedad cooperativa aprendieron a realizar la pesca en su mayoría porque algún familiar directo les enseñó la actividad, seguido de conocidos o amigos miembros de la misma cooperativa como se observa en la Figura 1, así mismo, entre las principales razones por las cuales comenzaron a pescar son: para tener un trabajo, porque les gusta la actividad, o porque se les

otorgó el permiso de pesca, sin dejar de mencionar que la iniciaron para continuar con el legado de sus padres o por tradición familiar (Figura 2).

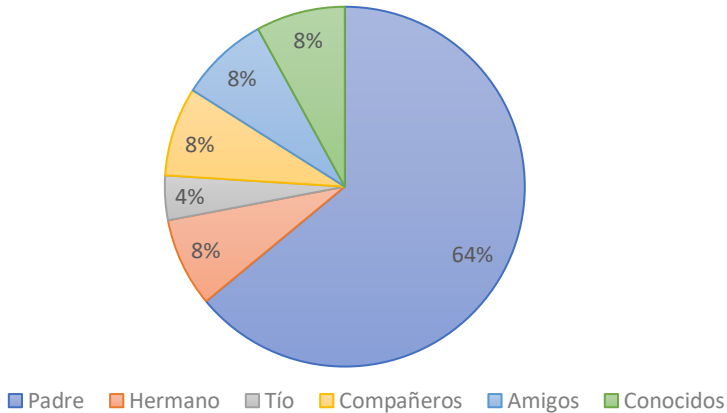


Figura 1. ¿Cómo aprendió a pescar?



Figura 2. ¿Por qué motivo comenzó a pescar?

Cada empresa cuenta con procesos específicos que permiten el funcionamiento de la organización y que son parte esencial de ella, como es el caso de la sociedad cooperativa "Pescadores de Gómez Farías" que, dadas sus actividades y dinámica propia, fue necesario identificar los procesos generales que realizan para poder describir sus actividades productivas, dichos procesos son: siembra de alevines, captura de peces y comercialización.

El proceso de captura se realiza por 26 miembros activos de la sociedad mediante el arte de pesca de trasmallo con redes agalleras, con una abertura de luz de  $3 \frac{1}{2}$  ó  $3 \frac{3}{4}$  de pulgadas para dar cumplimiento a la normativa, además se requiere de lanchas de fibra de vidrio de 14 pies que son impulsadas por remos y ganchos de madera de pino y fibra de carbono, chaleco salvavidas, botas de trabajo, mandil de plástico, lámpara para cabeza (dependiendo la época del año), cuchillos, boyas, contrapesos, cajas de plástico y kit de limpieza (jabón, cloro y cepillo), además de un botiquín como prevención (Figura 3). Dicho proceso dura alrededor de 5 a 8 horas diarias que puede variar de acuerdo a las condiciones climatológicas y ambientales que se presenten, así como la época del año.



Figura 3. Actividad pesquera realizada por miembro de sociedad cooperativa en la "Laguna de Zapotlán".



De igual forma en este proceso participan la mayoría de los miembros de la organización, por esta razón se realizó el modelado de procesos (BPM) de la captura mediante la representación gráfica de un diagrama de flujo; en él se identificaron tres actores: los pescadores, el encargado de producción y el tesorero; algunas de las actividades realizadas durante el proceso son: ingresar al lago, colocar las redes, esperar, revisar redes, recolectar peces, recolectar redes, trasladarse a la orilla, eviscerar y pesar para la entrega del producto pesquero; además, es importante mencionar que una vez que termina el proceso de captura de peces se inicia inmediatamente el de comercialización (Figura 4).

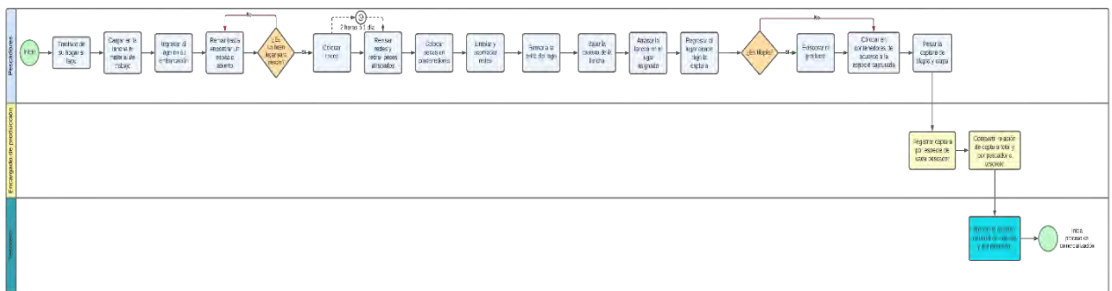


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de captura de peces de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farías”.

Como se observa en la Figura 5, las especies mayoritarias que se capturan por esta sociedad para comercializar, y de las cuales se cuenta con permiso son: tilapia y carpa, sin embargo, también existe captura de lobina y charal en minoría.

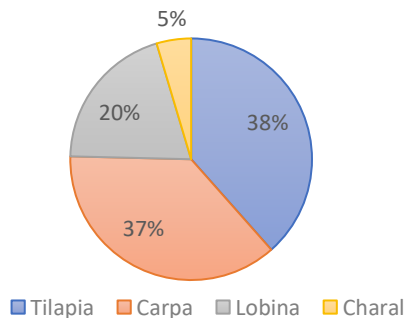


Figura 5. ¿Cuáles son las principales especies de peces que capturan?

## DISCUSIÓN

Los resultados del estudio muestran cómo se realizan las actividades productivas en la sociedad cooperativa "Pescadores de Gómez Farías", ya que en cada cooperativa existen diferentes modos y formas de desarrollar la actividad por la situaciones del humedal (natural o artificial), así como el proceso de artes de pesca para captura y transporte para el mercadeo; siendo esto un modelo referente de las actividades, materiales e instrumentos requeridos para poder realizar la pesca en el lago "Laguna de Zapotlán", de acuerdo con el arte de pesca de trasmallo utilizada en este cuerpo de agua.

El presente trabajo fue realizado para caracterizar las actividades productivas de la pesca que realiza esta sociedad cooperativa, el cual fue alcanzado de forma satisfactoria, además, esto contribuirá a la organización, ya que se creó un diagrama de flujo de uno de los procesos esenciales para la empresa, que tiene como finalidad que los miembros actuales y futuros de la organización cuenten con una representación gráfica de las actividades que deben desarrollar, en su día a día, para el logro de sus objetivos y mejorar sus metas.

El proceso de captura de peces es un eslabón clave en el funcionamiento de la organización, ya que una vez que termina este da inicio el proceso de comercialización; por esta razón es indispensable que este se desarrolle de manera eficiente y eficaz para dar cumplimiento a la razón de ser de la empresa.

Es necesario seguir trabajando en la descripción de los procesos restantes de la microempresa "Pescadores de Gómez Farías", ya que esto permitirá tener una administración y mejoramiento de los procesos esenciales, además de indicar el procedimiento y trazar la ruta por la cual estos productos pesqueros pasan para poder llegar al consumidor final.

## CONCLUSIONES

La caracterización del proceso productivo de la Sociedad Cooperativa "Pescadores de Gómez Farías", está conformado por tres procesos generales que son: siembra de alevines, captura pesquera y comercialización, esto permite el funcionamiento de la organización con resultados positivos desde el año 1981.

La pesca es resultado de los servicios ecosistémicos que aporta el humedal de la “Laguna de Zapotlán”, ya que genera una fuente de alimentación rica en nutrientes, vitaminas, minerales y omegas a bajo costo, además de generar trabajo básico de forma directa e indirecta.

La actividad pesquera que realiza la Sociedad Cooperativa se lleva a cabo de forma sustentable, para reducir el impacto que esta pueda generar en el humedal del lago “Laguna de Zapotlán”, siendo responsables con los materiales y equipos utilizados para su actividad con la finalidad de proteger, conservar, manejar y aprovechar sustentablemente el cuerpo de agua.

Toda organización, independientemente del giro o tamaño que tenga, requiere de una descripción de procesos, esto para contribuir a la capacitación del personal y a la optimización de recursos materiales y humanos, así como favorecer las actividades diarias para cumplir con los objetivos y metas de la institución y del humedal.

La pesca realizada por la sociedad cooperativa “Pescadores de Gómez Farías”, es una actividad heredada que ha permitido que se mantenga a lo largo de 42 años, a pesar de las situaciones ambientales, económicas y de salud (COVID-19) que se han vivido en los últimos años.

El presente trabajo es un instrumento de apoyo para la continuidad de la pesca por las nuevas generaciones en la región, ya que proporciona información específica por escrito sobre el desarrollo de la actividad pesquera realizada por la sociedad en el humedal de la “Laguna de Zapotlán”.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración de los miembros de la Sociedad Cooperativa “Pescadores de Gómez Farías” por brindar su valioso apoyo, colaboración y disposición, para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- EEM (2005). Los ecosistemas y el bienestar humano: Humedales y agua. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis. [en línea]. Washington, D.C.: ([https://www.millenniumassessment.org/documents/MA\\_WetlandsandWater\\_Spanish.pdf](https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf))
- Hernández, S.R., Fernández, C.C. y Baptista, L.M.P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ª ed.). McGraw-Hill. México, D.F. 600pp.
- Michel J.G., García R.X., Peniche S., Gutiérrez A.B., Cerón M., Torres G., Luján R. (2018). Programa de conservación. In: Guía para la Protección, Conservación y Manejo de los Humedales: "Caso Laguna de Zapotlán", Jalisco Sitio Ramsar No. 1466. (J.G. Michel, Coord.). Porrúa Print, Ciudad de México, México, pp. 135-190.
- Pérez, M., Ferreryra, J.P., Verino, C. y Cocconi, D. (2017). Definición de una arquitectura de Procesos Utilizando la Metodología BPTrends para la Aplicación del Ciclo de Vida BPM. XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. (pp. 470-474). Editorial. Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI). Buenos Aires (abril 2017).
- Ramsar (1994). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas [en línea]. París, 13 Julio 1994: ([https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current\\_convention\\_s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf))
- Ramsar (2018). Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018. Secretaría de la Convención Ramsar. Informe. [en línea]. Gland, Suiza: ([https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo\\_s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf)).
- Russi D., ten Brink P., Farmer A., Badura T., Coates D., Förster J., Kumar R. y Davidson N. (2013). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands*.

Institute for European Environmental Policy and Secretaría de Ramsar. Londres y Bruselas, Gland: (https://www.researchgate.net/publication/257652583\_The\_Economics\_of\_Eco systems\_and\_Biodiversity\_for\_Water\_and\_Wetlands)

Tamayo, M. (2009). El proceso de la investigación científica incluye evaluación y administración de proyectos de investigación. Editorial Limusa. (5ª ed.). México, D.F. 444pp.



# Ocho principios de consideración ética para mejorar la gobernanza ambiental en las zonas costeras

Eight principles of ethical consideration to improve environmental governance in coastal areas

Guillermo Martín Caille<sup>1,2</sup>, José María Musmeci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Filosofía de las Ciencias, Sede Trelew de la Facultad de Cs. Naturales y Cs. de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia (UNPSJB).  
Trelew, Argentina.

<sup>2</sup>Fundación Patagonia Natural (FPN). Puerto Madryn, Argentina.

Guillermo Martín Caille   [gcaille2003@yahoo.com.ar](mailto:gcaille2003@yahoo.com.ar)

Palabras clave |  
Gobernanza ambiental,  
Principios éticos,  
Zonas costeras.

**RESUMEN** | Muchos de los escenarios costeros de América Latina, luego de varias décadas de crecimiento económico y demográfico, necesitan de cambios urgentes para poder sostener los beneficios que el uso extractivo de sus recursos ha generado y mitigar los deterioros que esto ha generado. Se presenta un conjunto de principios de consideración ética que, como instrumentos, deberían orientar a los gobiernos a poner en práctica nuevos cursos de acción frente a los crecientes desafíos sociales y ambientales que se plantean en los escenarios costeros, y que aportarán al logro progresivo de una buena gobernanza.

Keywords |  
Coastal areas,  
Environmental  
governance,  
Ethical principles.

**ABSTRACT** | Many of Latin America's coastal scenarios, after several decades of economic and demographic growth, need urgent changes in order to sustain the benefits that the extractive use of their resources has generated and mitigate the deterioration that this has generated. It presents a set of principles of ethical consideration that, as instruments, should guide governments to implement new courses of action in the face of the growing social and environmental challenges posed by coastal scenarios, and that will contribute to the progressive achievement of good governance.

## INTRODUCCIÓN

Desde inicios de este siglo han aumentado las voces que sostienen que la profundización de la crisis ambiental ha generado desigualdades económicas y sociales que resultan inaceptables; y que para cambiar esta situación deben concretarse una serie de cambios profundos en las políticas públicas, que incluyan el fortalecimiento de la gobernanza a escala local y regional (OIT, 2004).

En muchas de las zonas costeras de América Latina y el Caribe, las numerosas y crecientes presiones sobre los ecosistemas marinos han dado lugar a su deterioro, afectando al bienestar humano y las posibilidades de un desarrollo con equidad. Y hay un consenso creciente en que, para frenar y revertir esta tendencia, la protección de los ecosistemas y de las sociedades y comunidades que obtienen su sustento en ellos, debe convertirse en uno de los componentes centrales de las políticas públicas (WWAP2-UNESCO-PNUMA, 2006).

La importancia que este tema ha tomado frente a las crisis ambientales contemporáneas, convierte a la gobernanza ambiental en uno de los ejes a fortalecer, y tanto más por las contribuciones que puede aportar para recuperar y consolidar los marcos democráticos en los países de la región (Castro, 2018). Sin embargo, la complejidad de las dimensiones concurrentes y sus variaciones locales, requieren que el abordaje de lo ambiental se plante desde un enfoque de un pensamiento complejo (Morin, 1997; Morin 2008; Solanas, 2008); evitando, por ejemplo, los reduccionismos de corte economicista.

Desde la percepción de esta complejidad, y de los desafíos que plantea sostener un desarrollo en equidad, surge la necesidad de construir espacios superadores para buscar estrategias viables para mejorar la gobernanza ambiental en las zonas costeras. Espacios que permitan generar propuestas concretas desde los organismos de gobierno, ahondando en las cuestiones prácticas y estructurales; y que promuevan, recuperen y fortalezcan una participación activa y responsable en la gestión ambiental del sector privado y de la sociedad civil y sus organizaciones.

## MARCO CONCEPTUAL Y DISCUSIÓN

### El concepto de la buena gobernanza

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la gobernanza es *“...el proceso de toma de decisiones y el proceso por el que estas decisiones son implementadas o no, en los diferentes escenarios económicos, sociales y ambientales”* (UNESCAP, 2014). En este contexto, el concepto de buena gobernanza está centrado en un enfoque basado en los derechos humanos, al considerar a la ciudadanía como *“...titulares de derechos, con plena capacidad de participación; y aspira a promover la equidad de género y social, con acento en los grupos empobrecidos y pueblos originarios, entre otros que merecen una consideración ética particular”* (OIT, 2004). Todo ello teniendo en cuenta un modelo de participación y de toma de decisiones basado en un buen balance entre las políticas públicas, las condiciones operativas que requiere el sector privado y las demandas legítimas de mejoras de la ciudadanía. Decisiones que luego se espera sean respetadas y promovidas por los organismos de gobierno en su implementación, para avanzar hacia el logro de una gestión ambiental eficaz y equilibrada, con un especial enfoque en aquellas actividades que son la base de las economías locales y regionales.

En los escenarios de las zonas costeras de América Latina, la gestión de gobierno debería promover el interactuar con los otros sectores, dependiendo en cada sitio de los diferentes contextos y de los múltiples actores presentes; por ejemplo, los propietarios de la tierra, las asociaciones de pescadores, las cooperativas y asociaciones productivas, las cámaras y asociaciones empresariales, las organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil, los organismos e institutos de investigación, los centros de enseñanza, entre otros. Tanto más si se considera que **varios de estos “otros actores”** habitan desde hace tiempo (en ocasiones por muchas generaciones), y que obtienen su sustento y proyectan su futuro en los escenarios (económicos-sociales-ambientales) en los que van a impactar las consecuencias (positivas o no, inmediatas o no, previsibles o no) de las decisiones que se en ellos se implementen.

Las estructuras de implementación previstas pueden ser informales (como grupos de asesores o de asistencia técnica, consejos de gestión o consorcios de



implementación, entre otras), o formales (como las autoridades de aplicación gubernamentales previstas en los marcos jurídico-normativos vigentes regionales y locales); y para que todo se lleve a cabo no sólo de manera correcta según el marco constitucional y las leyes vigentes, sino que se legitimen y adquiera una dimensión superadora, es necesario que existan y articulen “un buen gobierno” y “una buena gobernanza”.

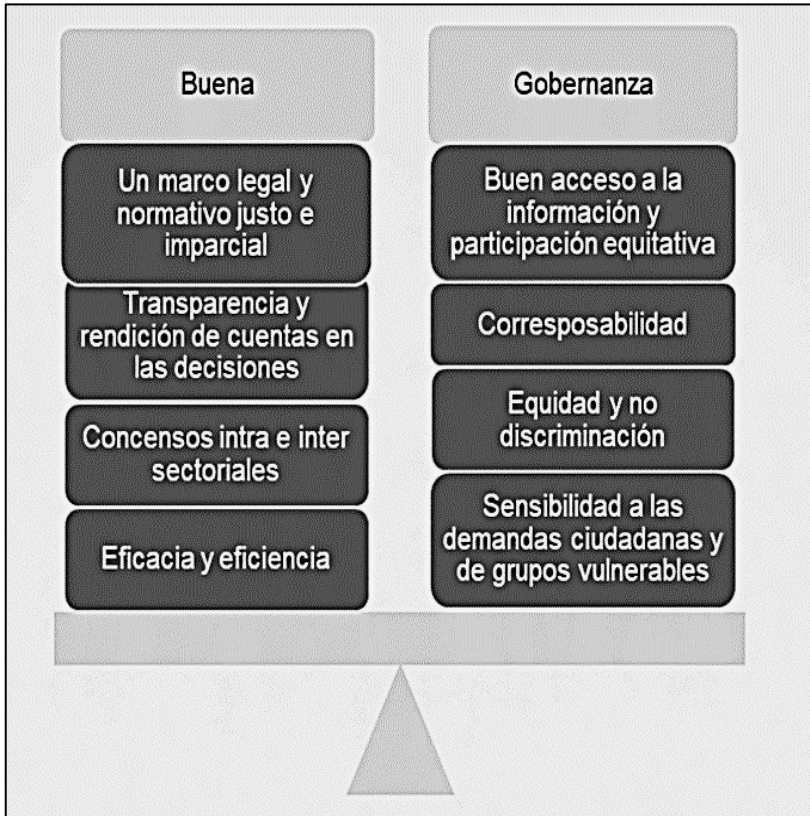


Figura 1. Dimensiones que dan satén, equilibran y promueven una buena gobernanza

En el sentido desarrollado en los párrafos anteriores, hay ocho dimensiones (que no excluyen otras que puedan agregarse según las nuevas complejidades que se perciban a medida que se avanza en el proceso de toma de decisiones y de implementación de las mismas) que, definidas como atributos a incorporar y

garantizar en la gestión, si se equilibran, darán sostén y contribuirán a promover una buena gobernanza (Figura 1), según:

1. Un marco legal y normativo justo e imparcial;
2. Equidad y no discriminación;
3. Sensibilidad a las demandas ciudadanas y de grupos vulnerables por parte de los decisores;
4. Buen acceso a la información por la sociedad y mecanismos eficaces de participación equitativa;
5. Transparencia y rendición de cuentas en las decisiones;
6. Consensos intra e intersectoriales entre los involucrados en la gestión;
7. Corresponsabilidad entre actores clave; y
8. Eficacia y eficiencia en las instancias de implementación.

### El enfoque de la gobernanza ambiental

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) propone como definición de gobernanza ambiental *"...un concepto que incluye normas, instituciones y procesos que determinan cómo se ejercen el poder y las responsabilidades, cómo se toman las decisiones y cómo participan los ciudadanos en el manejo de los recursos naturales"* (Pazmiño y Montero, 2013). Es decir, se enfocan las relaciones y los ejercicios del poder, y las tensiones entre actores, instituciones y normas o leyes; pero también se incluyen los discursos y dispositivos que las comunican a la ciudadanía y a sus organizaciones, así como los procesos (participativos o no) que las legitiman.

Bajo este enfoque, se distinguen cuatro tipos o categorías de gobernanza ambiental (Pazmiño y Montero, 2013), según:

1. De tipo I o Gobernanza por parte del gobierno: Uno o más organismos del gobierno poseen la autoridad, la responsabilidad, la capacidad de implementar y la obligación de rendir cuentas sobre la gestión ambiental.
2. De tipo II o Gobernanza compartida: Se comparte la autoridad administrativa y la responsabilidad entre varias partes, gubernamentales y no gubernamentales.
3. De tipo III o Gobernanza privada: Comprende áreas bajo el control y propiedad de personas, organizaciones de la sociedad civil o empresas/corporaciones, gestionadas con o sin ánimo de lucro.
4. De tipo IV o Gobernanza por parte de pueblos originarios y comunidades locales: En general está basada en prácticas culturales tradicionales, e incluye territorios de pueblos indígenas y áreas gestionadas por comunidades locales que son reconocidas formalmente.

La efectividad de la gestión ambiental que puede alcanzar cada uno de estos tipos o categorías de gobernanza (que pueden no estar reconocidos formalmente, aunque sí darse en la práctica), estará condicionada por la calidad y aceptación lograda en su diseño, su planificación, y su grado de implementación y cumplimiento.

Esta búsqueda de efectividad en la gestión ambiental está reflejada y es promovida en diversos acuerdos internacionales vigentes desde fines del siglo pasado, como el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales (OIT, 1989), el Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (ONU, 1993), la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (ONU, 1994); y más recientemente en la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (ONU, 2007) y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Principios Éticos en relación al Cambio Climático (UNESCO, 2017), entre otros.

Por ello, una buena gobernanza ambiental puede entenderse como “...un sistema de gobernanza que responde a los principios y valores escogidos libremente por las personas de un país y que están reflejados en su constitución, y que articulan eficazmente con sus leyes ambientales y de recursos naturales, y las normas de áreas particulares, prácticas culturales y leyes tradicionales...” (UNESCAP, 2014).

## Los principios éticos para una buena gobernanza ambiental

Pueden proponerse un conjunto de ocho principios éticos, a considerar en su conjunto y comunes a los cuatro tipos de gobernanza (aunque no excluyentes de nuevos principios que se agreguen al percibirse nuevas dimensiones de la gestión, pero siempre consistentes con las ocho dimensiones o atributos antes definidos), para promover el logro de una buena gobernanza ambiental en las zonas costeras, según:

1. Principio de legitimidad y voz: Promueve el diálogo social y los acuerdos colectivos sobre los objetivos y las estrategias de gestión, sobre la base de libertad de asociación y expresión; sin discriminación en función de género, etnia, modos de vida, valores culturales u otras características.
2. Principio de subsidiariedad: Promueve atribuir autoridad de gestión y responsabilidad concreta a las instituciones más cercanas a los recursos.
3. Principio de equidad: Promueve compartir equitativamente los costos y los beneficios de establecer y administrar los recursos, y proporcionar los medios para un juicio imparcial o una mediación en casos de conflictos.
4. Principio de no hacer daño o de no perjuicio: Promueve asegurar que los costos de establecer y gestionar los recursos no creen ni agraven la pobreza, la vulnerabilidad y la discriminación.
5. Principio de respeto intergeneracional: Promueve respetar los derechos humanos en el contexto de la gobernanza de los recursos, incluyéndolos derechos de las generaciones futuras.

6. Principio de rendimiento o de eficacia: Promueve conservar eficazmente la calidad ambiental y la biodiversidad, a la vez que responder a las preocupaciones de los grupos de interés y realizar un uso adecuado y responsable de los recursos.
7. Principio de rendición de cuentas: Promueve tener claras líneas de responsabilidad y asegurar la información y la comunicación adecuada a todos los grupos implicados, acerca del cumplimiento de sus responsabilidades.
8. Principio de transparencia y de acceso a la información: Promueve asegurar que toda la información relevante esté disponible para los grupos de implicados (sean beneficiados o perjudicados), y para la ciudadanía en general, y facilitar de forma activa su accesibilidad.

Accionando en su conjunto, estos ocho principios de consideración ética (Figura 2), deberían no sólo ser atendidos por los decisores como respuestas a los reclamos que resulten legítimos por parte de la sociedad y sus organizaciones; sino internalizados, comunicados e impulsados en forma activa desde la gestión pública, a través de todas las estructuras de implementación previstas y de sus actores particulares.

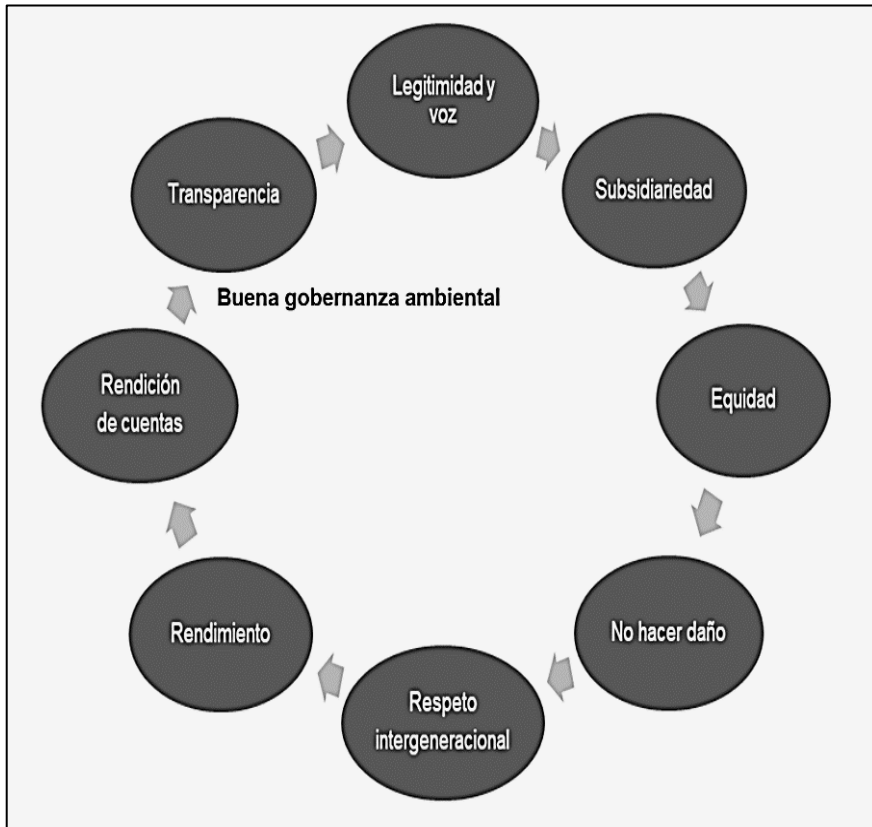


Figura 2. Ciclo de los principios para promover una buena gobernanza ambiental

### Sobre los riesgos y la gobernanza en las zonas costeras

Aunque aún hoy se percibe, la mayoría de las veces, la realidad natural y social bajo un enfoque de corte socio-económico concebido desde inicios del siglo pasado, con tensiones binarias y no resueltas entre “tradicionalismo y progresismo” o “conservacionismo y desarrollismo” entre otras; diferentes sociólogos contemporáneos han conceptualizado el momento actual de la civilización occidental como el de una “sociedad del riesgo” en el sentido propuesto por Beck a fines de los 90’s (Beck, 1998; Montenegro, 2005).

Este enfoque destaca que, como sociedad contemporánea “...estamos

*situados en el riesgo como un estilo de vida” y que “...el riesgo constituye el punto de partida de toda situación”* (Buxó y Casado, 2005). Esto representa en sí una oportunidad para lograr visibilizar, intentar resolver y tener chances de superar, los desafíos ambientales que plantea el crecimiento de las economías extractivistas, basadas en el uso cada vez más intensivo de lo que en ellas se define como “recursos naturales” (Montenegro, 2005; Buxó y Casado, 2005).

En las costas, las situaciones o escenarios de riesgo generan instancias interactivas en que concurren casi todos (sino todos) los niveles de realidad (el material, el temporal, el institucional, el organizativo y el afectivo-emocional); y en donde, además, se interconectan las escalas locales, nacionales, regionales, e incluso la escala global; como lo señalan los procesos del cambio climático que impactan en las costas y en las comunidades que viven y dependen de ellas, y complejizan aún más los aspectos implicados para abarcar los procesos de gobernanza (RIOCCADAPT, 2020).

## CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Todo análisis de la gobernanza debe enfocar tanto a los actores formales e informales involucrados en los procesos de toma de decisiones, como a las estructuras que son necesarias para poder implementar estas decisiones (incluyendo los dispositivos comunicacionales y sus contenidos), y que a veces faltan y deberán crearse; atendiendo a los lineamientos que surgen de los marcos normativos vigentes en cada escenario y de las políticas de estado. Y se lo debe hacer con instrumentos de análisis y con perspectivas que ayuden a percibir, como primera dificultad a resolver, estos múltiples cruces. Instrumentos que orienten a los gobiernos a poner en práctica nuevos cursos de acción frente a los crecientes desafíos sociales y ambientales que se plantean en los escenarios costeros de la región, que han dejado atrás (y con pocas perspectivas de sostener a futuro) los beneficios de varias décadas de un rápido crecimiento económico y demográfico (Caille et al., 2007).

En las costas de América Latina, donde por décadas las economías han estado basadas casi exclusivamente en un creciente uso extractivo de sus recursos, mejorar la gobernanza resulta clave para articular en forma superadora las

tensiones del mundo social y las legítimas aspiraciones de mayor bienestar de las comunidades costeras, con la conservación de la naturaleza como legado a las generaciones futuras (Caille et al., 2007).

Sin embargo, tal como están definidos la mayoría de las veces los problemas a resolver en las zonas costeras, de forma unidisciplinaria y restringidos al escenario local, como los casos de erosión costera, acumulación de desechos en las playas, mortalidad o perturbaciones a la de fauna silvestre, disminución de la pesca, entre otros, no se tiene demasiadas chances de solución en la práctica; y por lo tanto, resultará necesario redefinirlos de forma interdisciplinaria, y en general con enfoques integrados a mayores escalas, tanto espaciales como temporales.

El enfoque basado en “situaciones o escenarios de riesgo”, aporta a considerar los procesos interactivos que se despliegan en múltiples escalas espaciales y temporales; y brinda una oportunidad para poder visibilizar e intentar superar los desafíos ambientales que resultan de décadas de intervenciones extractivistas.

Muchos de los escenarios costeros de la región necesitan de cambios urgentes para poder sostener los beneficios que el uso de sus recursos ha generado, o prevenir y mitigar los deterioros cada vez más evidentes. En ellos, el logro progresivo de una buena gobernanza ambiental requerirá que los gobiernos locales y regionales, además de adoptar principios de consideración ética para orientar sus decisiones, como los que en este trabajo se proponen, promuevan su difusión, apropiación y puesta en práctica por parte de la sociedad civil y del sector privado.

## Agradecimientos

Se agradece a los organizadores del XII FIRMA por la posibilidad dada a los autores de dar a conocer este trabajo en un ámbito de tal relevancia.

## REFERENCIAS

Beck U. (1998). La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad. Ed. Paidós. Barcelona, 400pp.



- Buxó M.J., Casado M. (2005). Riesgo y precaución. Pasos hacia una bioética ambiental. Residencia d'investigadors CSIC. Barcelona, España, 225pp.
- Caille G., Ochoa E., Olsen S. (2007). Para mejorar la gobernabilidad sobre los cambios en los ecosistemas costeros de Latinoamérica. En P. Tarak y B. Toro (ed.), Ocho caminos para la integración inter-territorial latinoamericana, Fundación AVINA, Bogotá, Colombia, pp:13-33.
- Castro A. (2018). El desafío de un pensar diferente: pensamiento, sociedad y naturaleza. CLACSO. Buenos Aires, Argentina, 373pp.
- Montenegro S.M. (2005). La sociología de la sociedad del riesgo: Ulrich Beck y sus críticos. Rev. Pampa, UNL, Santa Fe, Argentina, 1(1):117-130.
- Morin E. (1977). El Método (Tomo I). La naturaleza de la Naturaleza, 6ta. Edición. Ediciones CátedraEM-UNESCO, París, Francia, 496pp.
- Morin E. (2008). Introducción al pensamiento complejo. Editorial Gedisa, Buenos Aires, Argentina, 110pp.
- OIT (2004). Por una globalización justa: Crear oportunidades para todos. Comisión Mundial sobre la Dimensión Social de la Globalización. Organización Internacional del Trabajo, Ginebra, Suiza, 185pp. (<https://www.ilo.org/public/spanish/wcsdg/docs/report.pdf>).
- ONU (1993). Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (CBD). (<https://www.cbd.int/convention/>).
- ONU (1994). Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD). (<https://www.unccd.int/>).
- ONU (2007). Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas. ([https://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/DRIPS\\_es.pdf](https://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/DRIPS_es.pdf)).
- Pazmiño Montero A. (2013). Aprendiendo sobre la gobernanza. En

Conservación Ahora (publicación electrónica). Oficina Regional para América del Sur de la UICN, Quito, Ecuador, pp:17-19.

RIOCCADAPT (2020). Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos– Informe RIOCCADAPT. J. M. Moreno, C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo, J. Buendía, A. Marengo y U. Oswald Spring (ed.), McGraw Hill, Madrid, España, 782pp.

Solanas J. L. (2008). El pensamiento complejo como alternativa al neopositivismo y al posmodernismo en antropología. *Synergies Monde*, 4:235-243.

UNESCAP (2014). What is Good Governance? United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. (<https://www.unescap.org/resources/what-good-governance>).

UNESCO (2017). Declaration of Ethical Principles in relation to Climate Change. (<https://en.unesco.org/themes/ethics-science-and-technology/ethical-principles#:~:text=Some%20195%20states%20joined%20a,session%20of%20UNESCO's%20General%20Conference.&text=Other%20ethical%20principles%20identified%20are,equity%20and%20a%20precautionary%20approach>).

WWAP2-UNESCO-PNUMA (2006). Ecosistemas costeros y de agua dulce. En: El agua, una responsabilidad compartida. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (UN-WATER/WWAP/2007/02), 2do. Informe, pp:159-198. (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149519>).



# Resultados do IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola: “Participação e inclusão de comunidades tradicionais no processo de extensão”

Results of the IV Fisheries and Aquaculture Extension Seminar:  
“Participation and inclusion of traditional communities in the extension process”

Adriano Prysthon<sup>1</sup>, Beatriz Mesquita<sup>2</sup>, Micheli Cristina Thomas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Alimentos e Territórios, Maceió, Alagoas, Brasil

<sup>2</sup>Fundação Joaquim Nabuco, Recife, Pernambuco, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil

Correspondencia Adriano Prysthon  [adriano.prysthon@embrapa.br](mailto:adriano.prysthon@embrapa.br)

Palabras clave |  
participação,  
extensão,  
pesca artesanal,  
aquicultura

**RESUMO** | Durante o mês de agosto de 2023 aconteceu o IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola, com o tema: “Participação e inclusão de comunidades tradicionais no processo de extensão”. O Seminário teve como objetivo promover um intercâmbio de experiências em extensão (pesqueira e aquícola), pesquisa-ação e conhecimento tradicional. O principal produto do evento foi a “Carta de Porto de Galinhas”, que apontou questões importantes na extensão como, por exemplo: a necessidade de maior comunicação na extensão pesqueira, necessidade de equipes multidisciplinares no trabalho de extensão, editais de Extensão mais resilientes, valorização da cultura pesqueira, fortalecimento de redes colaborativas e a diminuição do abismo existente entre a pesquisa e a base pesqueira. Ações também foram indicadas para que o Seminário possa ter continuidade em futuras edições do CONBEP, fortalecendo a discussão sobre a extensão pesqueira e aquícola no Brasil.

Keywords |  
participatory,  
extension,  
artesanal fisheries,  
aquaculture

**ABSTRACT** | During the August 2023, the IV Fisheries and Aquaculture Extension Seminar took place, with the theme: "Participation and inclusion of traditional communities in the extension process". The Seminar aimed to promote an exchange of experiences in extension (fishing and aquaculture), action research and traditional knowledge. The main product of the event was the "Carta de Porto de Galinhas", which highlighted important issues in extension, such as: the need for greater communication in fishing extension, the need for multidisciplinary staffs in extension fields, more resilient Extension notices, valuing fishing culture, strengthening collaborative networks and reducing the gap between research and the fishing communities. Actions were also indicated so that the Seminar can be continued in future editions of CONBEP, strengthening the discussion on research and aquaculture extension in Brazil.

## INTRODUÇÃO

A Federação Nacional dos Engenheiros de Pesca do Brasil (FAEP-BR) e a ABEP realizam bianualmente o Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca (CONBEP). Em 2023 foi realizado o XXII CONBEP, na Praia de Porto de Galinhas, Cidade de Ipojuca (PE), no período de 21 a 24 de agosto do corrente ano, com o Tema: "Desenvolvimento sustentável e segurança alimentar: diálogos para o futuro". O CONBEP busca, entre outros objetivos, o aprimoramento dos profissionais da Engenharia de Pesca e áreas afins, assim como os demais profissionais que fazem parte do setor pesqueiro e aquícola no Brasil.

Como parte do evento, foi realizado o IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola, com o tema; "Participação e inclusão de comunidades tradicionais no processo de extensão". O Seminário teve como principal objetivo promover um intercâmbio de experiências em extensão (pesqueira e aquícola), pesquisa-ação e conhecimento tradicional. Neste sentido, alguns objetivos específicos foram necessários para o alcance dos resultados: (i) Aumentar a participação da base produtiva (pescadores, aquicultores familiares) em eventos científicos; (ii) Resgatar a "Carta de Manaus\_2019" e analisar novos encaminhamentos; (iii) Discutir as principais metodologias participativas e suas experiências no Brasil e; (iv) fortalecer o Seminário no âmbito do CONBEP e articular novas parcerias. Aqui apresentamos

os principais resultados do Seminário, destacando as principais demandas para este setor no Brasil

## MATERIAS E MÉTODOS

O Seminário foi realizado presencialmente em agosto de 2023, no Hotel Armação em Porto de Galinhas, Ipojuca, PE e teve duração de aproximadamente 6 horas. A dinâmica do Seminário foi em três blocos de discussão com duas horas cada, sendo o primeiro bloco com palestras orientadoras, conforme a programação, e os demais blocos, no formato de Roda de Conversa com perguntas orientadoras ligadas às oportunidades e desafios atrelados à participação e inclusão de comunidades tradicionais no processo de extensão (Figura 1).



Figura 1. Programação do IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola.

Os diálogos tiveram como premissa o enfoque participativo com trabalhos em grupos (Cordioli, 2001) sendo um fator importante para a efetiva participação social (Rocha e Burstyn, 2016) (Figura 2). Ao final, as falas foram compatibilizadas e agrupadas para a composição da “Carta de Porto de Galinhas”, cujo esboço foi apresentado ao final das atividades. A Embrapa foi a principal organizadora do evento, que teve como parceiros a Fundação Joaquim Nabuco (FUNDAJ-PE) e a Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC-Campus Laguna)



Figura 2. Imagens das dinâmicas

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, setenta e sei pessoas participaram do Seminário. Este público representou 14 estados da federação (Figura 3), um recorde para o evento. Esta diversidade é fruto de um trabalho intenso da nossa equipe que articulou com diferentes instituições públicas e privadas das diferentes regiões do Brasil que trabalham direta ou indiretamente com a Extensão Pesqueira e Aquícola. Outro destaque é o perfil das instituições (Figura 4). Nesta edição do Seminário tivemos a maior participação de representantes das atividades produtivas da pesca artesanal e da aquicultura familiar da história do CONBEP, com 35,7% dos convidados. O que reforça ainda mais o papel da base produtiva para o avanço da Engenharia de Pesca no Brasil. As instituições de Ensino e Pesquisa (IES/IP) continuam com presença marcante no Seminário (31%), enquanto as Instituições de ATER (Assistência Técnica Rural) e Governo representaram 14,3% dos presentes cada. Por fim, as ONGs, setor também importante, representaram cerca de 5%

dos convidados. Esta diversidade se refletiu positivamente na Roda de Conversa e conseqüentemente nos encaminhamentos da "Carta de Porto de Galinhas".

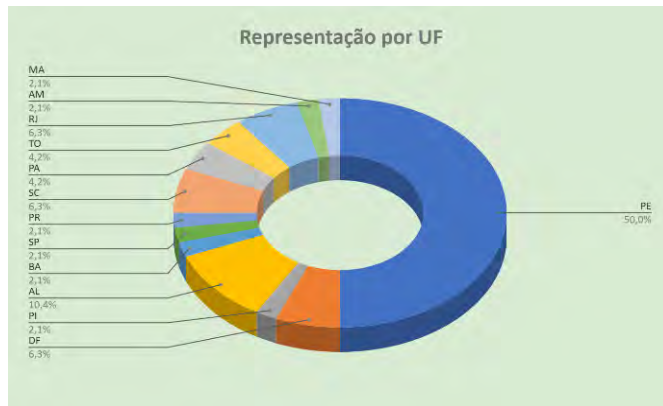


Figura 3. Representação no Seminário por Estado da Federação.(Fonte: IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola/XXII CONBEP).

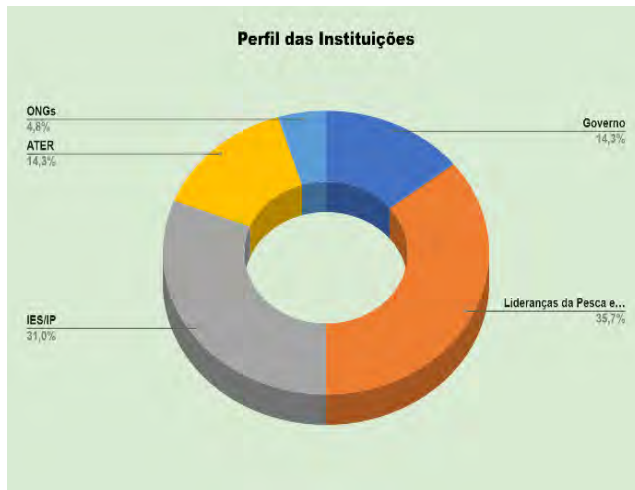


Figura 4. Perfil das instituições participantes do IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola do XXII CONBEP.

Por fim, o principal produto do evento foi a “Carta de Porto de Galinhas” que, após um período de aproximadamente 1 mês para validação pós evento, segue abaixo na íntegra:

### Carta de Porto de Galinhas

Considerando os encaminhamentos da “Carta de Manaus” (em anexo), construída pelos participantes do 3º Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola durante a realização no XXI CONBEP em 2019 e direcionada aos gestores de instituições públicas de ensino, pesquisa e extensão do Brasil, o Grupo de trabalho estabelecido se reuniu novamente em Porto de Galinhas-PE para realização do 4º Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola (programação em anexo), durante o XXII CONBEP.

Agregando às discussões anteriores, direcionando essa carta aos governos, pescadores e pescadoras, instituições de apoio da pesca artesanal e aquicultura familiar e ONG. Considerando o novo momento da pesca artesanal e aquicultura de base familiar a partir de 2023, com a reestruturação do Ministério da Pesca e Aquicultura. Reafirmando a importância da pesca artesanal e aquicultura de base familiar para a produção sustentável, modo de vida tradicional, cultura e identidade, bem como a diversidade desses trabalhadores. Visando contribuir para o desenvolvimento da Extensão Rural brasileira, mais especificamente na pesca artesanal e aquicultura de base familiar. Construímos, juntos e juntas, 76 representantes da pesca artesanal, pesquisadores(as), extensionistas e apoiadores da pesca artesanal, a “Carta de Porto de Galinhas”:

No contexto dos projetos de extensão relacionados à pesca, algumas pautas fundamentais emergiram durante o seminário. Um ponto crucial é a necessidade de a extensão estar presente no território dos projetos, assegurando uma comunicação efetiva com os produtores. Isso é especialmente importante devido à barreira da linguagem acadêmica, que muitas vezes dificulta a compreensão mútua. Além disso, é crucial respeitar e valorizar os conhecimentos e práticas já existentes na pesca, evitando interferências externas que possam desconsiderar o conhecimento local.



A necessidade de traduzir as demandas da comunidade para o poder público foi ressaltada como uma maneira de dar voz e acesso aos direitos dos pescadores e pescadoras. Uma expectativa existente é que editais para projetos de intervenção permitam flexibilidade aos extensionistas para adaptar os projetos de acordo com as necessidades locais emergentes, evitando a repetição constante de problemas já abordados.

A falta de resultados concretos com projetos de pesquisa foi uma preocupação levantada, destacando a importância de abordagens multidisciplinares. A criação de agendas de pesquisa integradas e a formação de cursos específicos foram apontadas como formas de promover a valorização da pesca artesanal e a sua integração com outras áreas de conhecimento.

A importância da escuta ativa por parte dos extensionistas e a necessidade de devolutivas claras e obrigatórias dos projetos foram ressaltadas como formas de estreitar a relação entre a academia e as comunidades pesqueiras. Além disso, houve um apelo para a criação de um olhar mais atento aos conflitos regionais e metropolitanos, considerando como o território da pesca é demarcado e protegido.

É importante que a extensão pesqueira e aquícola como disciplina curricular seja adequada e trabalhada no início dos cursos de graduação, de forma a proporcionar aos alunos e alunas a oportunidade de escolha de trabalho logo no início do curso, tendo o cuidado com os impactos que podem ser gerados pela curricularização da extensão de forma inadequada nas comunidades.

O seminário também trouxe à tona as lutas enfrentadas pelos movimentos dos pescadores e pescadoras, que buscam garantir direitos sobre seus territórios e águas. Questões como a contaminação dos rios, o derramamento de petróleo no mar e a poluição resultante de desastres e crimes socioambientais, bem como a falta de saneamento básico, foram discutidas como desafios cruciais. Os impactos à essas comunidades decorrentes de atividades econômicas realizadas em seu entorno, também foi pauta recorrente durante o Seminário.

Alguns jovens fazem uma transição da pesca artesanal para outras atividades econômicas, o que foi destacado como um desafio, já que ameaça a

sustentabilidade da prática tradicional. Porém, ao mesmo tempo, é preciso reconhecer que existem oportunidades de geração de renda que precisam ser avaliadas dentro de contextos específicos.

A representação das mulheres na pesca também foi um tópico relevante, ressaltando a necessidade de superar desafios de gênero e proporcionar maior visibilidade e empoderamento às pescadoras. Além disso, a falta de reconhecimento e apoio adequado aos pescadores, especialmente durante o período de defeso, foi mencionada como uma questão urgente a ser abordada.

No âmbito dos projetos de extensão, foi enfatizada a importância de incluir as vozes dos pescadores e promover uma comunicação acessível para que todos compreendam e se envolvam. O respeito às comunidades locais e a necessidade de uma atuação responsável também foram destacados como princípios fundamentais.

Em última análise, o seminário trouxe à tona uma série de desafios e demandas essenciais para a pesca artesanal e projetos de extensão na área. O compromisso com a valorização das práticas tradicionais, a inclusão de diferentes vozes e a busca por soluções sustentáveis foram pontos centrais nas discussões, indicando um caminho a seguir para o desenvolvimento e fortalecimento dessa atividade vital.

Destacamos abaixo as temáticas discutidas e demandadas durante o evento:

A importância da comunicação na extensão;

A importância de equipes multidisciplinares. É preciso de assistência social, psicóloga, veterinário, administrador, economista, eng de pesca e outros trabalharem juntos;

A necessidade de editais mais resilientes, escuta, que se adaptem à realidades locais e suas dinâmicas;

A importância da cultura da pesca artesanal;

Gestão das expectativas no trabalho de extensão;

Formação humanista no início dos cursos que se relacionem com a extensão pesqueira e aquícola;

A necessidade de fortalecimento de redes, fóruns e coletivos de escuta e discussão;

A importância da valorização dos pescadores e pescadoras artesanais e aqüicultores de base familiar;

Considerar todos os resíduos e produtos na atividade pesqueira e fomentar o empreendedorismo e a inovação social;

Diminuir o distanciamento entre a pesquisa e a base, estar a devolutiva no edital e ser obrigatória;

Extensão e formação da pesca artesanal (Ministério da Defesa, Ministério da Educação, MPA);

Fortalecimento de políticas públicas como o PAA;

Importância da segurança do trabalho na pesca e aqüicultura;

Universidade precisa valorizar Extensão na carreira dos professores;

Fortalecimento de lideranças e representações;

Defeso - não se paga em dia;

A extensão precisa dar visibilidade à pesca (a maior parte da sociedade não se alimenta de peixe);

Importância da escuta, convenção 169;

Considerar os conflitos com outras atividades econômicas;

Instrumentos como o automonitoramento como processo de empoderamento, uma vez que sem informação não há gestão na pesca artesanal (Prysthon, 2021);

Empatia com os pescadores e pescadoras no trabalho de extensão;

Relações de poder precisam ser reconhecidas;

Gênero, autoestima;

Necessário superar conflitos entre diferentes categorias, inclusive fomentados por instituições externas às comunidades;

Promoção da cidadania - Incidência em conselhos e outros mecanismos de participação;

Devolutiva política é importante - engajamento;

Resultados das pesquisas também cheguem ao governo;

Relação entre a extensão e a necessidade de defeso nos territórios dos pescadores

Mulheres são impactadas de forma mais intensa - seus espaços de trabalho são menores, característica de saúde específicas;

Contemplar pescadores de forma diferenciada em processos seletivos de graduação e pós-graduação;

Extensionistas precisam também estar no espaço de construção de políticas;

É preciso inserir as escolas locais nos processos de extensão;

Pensar extensão decolonial para uma única crise que é de percepção;

Oportunidades alternativas de trabalho e renda precisam ser avaliadas;

É importante gerar informações sobre o pescado para o consumidor, ex. rastreabilidade, selos, etc. Fomentar o desenvolvimento de selos específicos para a atividade como o selo arte;

Revisão da legislação pesqueira, tendo como base também instrumentos internacionais como as Diretrizes da Pesca Sustentável da FAO;

Importância da estatística pesqueira, incluindo o automonitoramento como premissa básica para a gestão pesqueira;

Promover arranjos comerciais que sejam benéficos para os produtores;

Entender a pesca e a aquicultura como uma atividade coletiva e comunitária e assim fomentar o associativismo, produção, administração financeira, comercialização (economia solidária), avaliando em relação às perdas de benefícios sociais;

Agroecologia como atividade que dialoga com a pesca artesanal tanto na proteção ambiental como na segurança e soberania alimentar.

## CONCLUSÕES

Visando melhorias no processo de planejamento e execução do Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola, os participantes consideraram as seguintes questões:

A “Carta de Porto de Galinhas: Extensão” deve ser encaminhada institucionalmente pela ABEP e pela FAEP aos diferentes setores da cadeia produtiva da pesca e aquicultura no Brasil e demais entidades competentes, que se relacionem direta e indiretamente com a extensão pesqueira e aquícola;

Publicar a Carta de Porto de Galinhas: Extensão no site do CONBEP;

para o XXIII CONBEP, que se busque estratégias para contactar pontos focais em Belém (sede do CONBEP 2025) para viabilizar uma maior participação da base produtiva (pescadores e aquicultores), inclusive na organização do Seminário;

É importante que o evento tenha recursos financeiros suficientes para viabilizar uma participação maior das entidades representativas da pesca e aquicultura, pois o orçamento para o IV Seminário foi muito reduzido (R\$ 2 mil) e praticamente informal, dependendo exclusivamente da sensibilização da presidência da Comissão Científica. O baixo orçamento, em condições normais, inviabiliza um evento desta natureza, principalmente por ser de caráter nacional, ao qual poderia ter representantes de lideranças da pesca de todo o país;

Que nos próximos Seminários possa haver maior participação da base produtiva (pescadores e aquicultores);

Ambiente físico mais espaçoso para facilitar a Roda de Conversa;

Convidar instituições que publicam editais (ex. pró-reitorias de extensão de IES);

Discutir melhor a questão da extensão junto às coordenações de cursos de Engenharia de Pesca do Brasil;

Ter mais atividades artísticas durante o Seminário;

## Agradecimento

Aos participantes do IV Seminário de Extensão Pesqueira e Aquícola do XXII CONBEP.

## REFERENCIAS

Cordioli, Sérgio. Enfoque Participativo do Trabalho com grupos. In: Markus Brose (org.) Metodologia Participativa. Uma Introdução a 29 instrumentos. Porto Alegre: Tomo Editorial, 2001. pp. 25 – 40.

Prysthon, A. 2021. "Gestão sem informação é ficção": como o monitoramento participativo da pesca artesanal pode subsidiar políticas públicas no Tocantins, Brasil. In: GUIMARÃES, L. L.; FREITAS, P. G. de (org.). Ciências agrárias

multidisciplinares: avanços e aplicações múltiplas. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2021. v. 1. p. 11-20. il.

Rocha, J. D., & Bursztyn, M. A. (2016). A importância da participação social na sustentabilidade do desenvolvimento local. *Interações (Campo Grande)*, 7(11). <https://doi.org/10.20435/interações.v7i11.496>.



# A importância da participação na eleição de problemas prioritários da pesca artesanal no médio Araguaia, Tocantins, Brasil

## The importance of participation in the election of priority problems of artisanal fisheries in the middle Araguaia, Tocantins, Brazil

Adriano Prysthon<sup>1</sup>, Andrea Elena Pizarro Munhoz<sup>2</sup>,  
Roberto Porro<sup>3</sup>, Onivaldo da Rocha Mendes<sup>4</sup>,  
Fernanda Oliveira Silva<sup>5</sup>, Andrey da Chama Costa<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Alimentos e Territórios, Maceió, Alagoas, Brasil

<sup>2</sup>Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, Tocantins, Brasil

<sup>3</sup>Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará, Brasil

<sup>4</sup>Secretaria de Pesca e Aquicultura do Tocantins-SEPEA, Brasil

<sup>5</sup>The Nature Conservancy, Brasil

<sup>6</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Tocantins-Ruraltins, Brasil

Correspondencia Adriano Prysthon  [adriano.prysthon@embrapa.br](mailto:adriano.prysthon@embrapa.br)

Palavras chave |  
participação,  
políticas públicas,  
pesca artesanal

**RESUMO** | A abordagem participativa envolve uma compreensão que exige não pressupor a ignorância do outro, mas admitir que o outro sabe e que seu saber, antes de ser descartado, precisa ser entendido e reconhecido, mesmo que depois venha a ser transformado. Neste trabalho, elenca-se de forma participativa os principais problemas da pesca artesanal em cinco municípios do rio Araguaia, estado do Tocantins. As dinâmicas favoreceram a compreensão de que não há um único problema que não exija ação coletiva e necessite da presença do poder público. O desmatamento, a pesca ilegal e a falta de valorização do pescado indicam que estas questões são prioritárias e crônicas, necessitando de ação urgente dos governantes das esferas local, municipal, estadual e federal. Só assim, sem utopias, será possível buscar estratégias que favoreçam o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da pesca artesanal na bacia Tocantins-Araguaia.



Keywords |  
participatory,  
public policies,  
artisanal fisheries

ABSTRACT | The participatory approach involves an understanding that requires not assuming the other's ignorance, but admitting that the other knows and that their knowledge, before being discarded, needs to be understood and recognized, even if it later comes to be transformed. In this work, it listed in a participatory way the main problems of artisanal fisheris in five municipalities on the Araguaia river, state of Tocantins. The dynamics favored the understanding that there is not a single problem that does not require collective action and requires the presence of the public government. Deforestation, illegal fishing and the lack of value for fish indicate that these issues are priority and chronic, requiring urgent action from governments at the local, municipal, state and federal levels. Only in this way, with no utopias, will it be possible to seek strategies that favor the sustainable development of the artisanal fishing production chain in the Tocantins-Araguaia basin.

## INTRODUCCIÓN

A pesca é a atividade extrativa mais importante no Brasil, sendo a pesca artesanal a responsável pela maior parte da produção (Begossi, 2010). Mundialmente, mais de 90% das capturas da pesca artesanal continental estão nos países em desenvolvimento (Bartley *et al.*, 2015) como o Brasil, onde esta atividade um componente vital para a subsistência de milhares de comunidades tradicionais. A pesca artesanal exerce um papel importante na redução da pobreza, na segurança alimentar, empoderamento de gênero, manutenção da socioeconomia e dos serviços culturais e ecossistêmicos (Funge-Smith e Bennett, 2019). Neste contexto, a bacia Tocantins-Araguaia contribui para um importante mosaico pesqueiro amazônico no Brasil.

A bacia Tocantins-Araguaia é a segunda maior do Brasil com uma área de drenagem de 767,000 km<sup>2</sup>, sendo o principal tributário da bacia amazônica e totalmente inserida no território brasileiro. Sua biodiversidade aquática é relevante, principalmente as áreas alagadas do rio Araguaia (Ribeiro, *et al* 1995; Latrubesse *et al.*, 2019) e por ser uma zona de transição entre a floresta amazônica e o cerrado (Ferreira *et al.*, 2011). O pulso anual de inundação na planície do

Araguaia propicia habitats com maior produção e diversidade de ictiofauna (Tejerina e Mérona, 2010). Consequentemente, esta diversidade da ictiofauna é amplamente disponibilizada como recurso pesqueiro a populações ribeirinhas que fazem da pesca artesanal sua principal atividade econômica (Prysthon et al., 2022).

Porém, no planejamento da gestão pesqueira artesanal, a falta de informação ainda é o principal desafio (Prysthon, 2021). A ausência de dados reflete a baixa participação dos pescadores na formulação de políticas públicas. Neste sentido, a participação popular é fundamental na busca de estratégias que favoreçam as comunidades pesqueiras. A abordagem participativa parte do pressuposto de que não há mudança de realidade produtiva se as decisões não são tomadas de forma coletiva e planejada (Rocha e Bursztyn, 2016). Portanto, o planejamento participativo na pesquisa é fundamental para que os resultados alcançados possam atingir de forma mais adequada os anseios das comunidades pesqueiras (Mendanha et al., 2017).

Porém, ainda presenciamos o uso indiscriminado do conceito de abordagem participativa, principalmente em discursos governamentais. Na maioria desses casos, a participação é vista como uma "tábua de salvação", ao permitir a criação de novos canais e mecanismos de relação entre a sociedade civil e a esfera pública (Rocha e Bursztyn, 2016). Portanto, a participação é um dos imperativos ao desenvolvimento sustentável (Bursztyn, 2001).

A participação dos atores locais é necessária em todos os estágios das discussões, visando à descoberta das reais necessidades e à satisfação das aspirações através da identificação de políticas sustentáveis e estratégias de desenvolvimento (Huynh, 1986). Por fim, para consolidar a importância da participação, de acordo com Jacobi (2003), "a ampliação de espaços de participação cidadã favorece qualitativamente a capacidade de representação dos interesses e a qualidade e equidade da resposta pública às demandas sociais"

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi identificar e priorizar, com abordagem participativa, as principais demandas da pesca artesanal no médio

Araguaia, Tocantins. Assim como, identificar questões em comum e sugerir possíveis estratégias de solução.

## MATERIAS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em cinco municípios do estado do Tocantins (Figura 1) e o público-alvo foi os pescadores artesanais, agrupados institucionalmente em Colônias de Pescadores (Z), a saber: Araguacema (Z-5), Araguatins (Z-1), Couto Magalhães (Z-09), Esperantina (Z-21) e Xambioá (Z-33). Reuniões comunitárias foram agendadas e os pescadores foram mobilizadas previamente por suas lideranças locais. As reuniões ocorreram durante o mês de novembro de 2023, durante o período de defeso no rio Araguaia (BRASIL, 2011). Este período foi escolhido também pela maior probabilidade de reunir os pescadores. O público total visitado nas reuniões foi de aproximadamente 350 pescadores (Figuras 2 e 3) e representação das mulheres nessas reuniões variou de 20% em Araguacema a 67% em Esperantina.

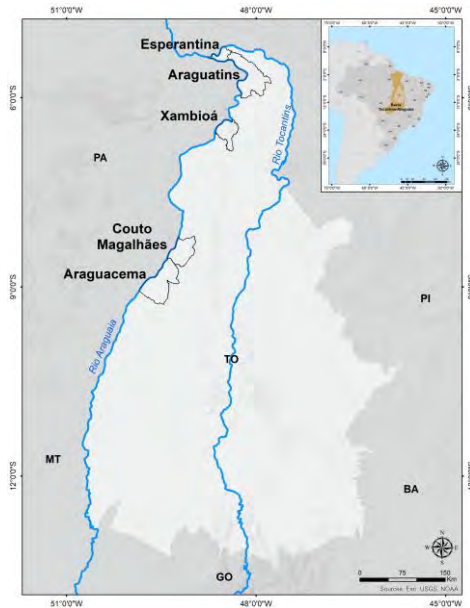


Figura 1. Mapa da região de estudo com a localização dos municípios visitados (mapa: Marta Eichenberger Ummus).

Importante contextualizar que a pesca artesanal na região é caracterizada pelo baixo poder de captura da frota se comparado à região amazônica e é composta predominantemente por embarcações em madeira e alumínio (Silva e Farias, 2017). As principais estratégias de captura são redes de emalhe/malhadeiras, seguido pelas linhas/espindel, tarrafa e arpões (Prysthon et al, 2022; Dias e Silva, 2020). Em menor escala, o arco e flecha é um importante modo de vida em comunidades indígenas (Prysthon e Ummus, 2017). Além da pesca, o turismo oferece uma opção de renda sazonal aos pescadores (Dias et al., 2022).

As reuniões comunitárias foram divididas em dois momentos distintos: (i) Apresentação dos resultados do monitoramento de desembarques e (ii) Levantamento e priorização de demandas/problemas da pesca artesanal.

Nas devolutivas, apresentados os resultados do projeto “Monitoramento e manejo participativo da pesca artesanal como instrumento de desenvolvimento sustentável em comunidades da região amazônica-PROPESCA, financiado pelo BNDES, com recursos do Fundo Amazônia (Registro SISGEN: A79139B). As devolutiva proporcionam um momento onde as comunidades podem se deparar, analisar e discutir sobre sua realidade Pesqueira com as informações prestadas nomonitoramento participativo. As informações foram expostas na forma de cartazes, fixadas nos locais da reunião e deixadas na comunidade para consulta pública (Figuras 2 e 3) e boletins informativos, por município, foram distribuídos ao público presente nas reuniões .

Na segunda parte da reunião, as demandas da pesca artesanal levantadas coletivamente serviram de subsídio para o projeto “Diagnóstico e Plano Estratégico para atuação da Embrapa numa abordagem de Bioeconomia Inclusiva na Amazônia-BIAmazon 2023-2024, financiado pela Embrapa) cujo objetivo é elaborar um plano estratégico integrado de PD&I incluindo contribuições para políticas públicas visando atender demandas em bioeconomia inclusiva na amazônia.

Através da técnica de visualização móvel Metaplan (Cordioli, 2001) (Figura 4) os pescadores puderam citar e priorizar os problemas que afligem a pesca artesanal em cada município, respeitando suas particularidades. Posteriormente,

as demandas foram consolidadas e organizadas coletivamente em ordem de prioridade (Figura 5).



Figura 2. Reunião em Araguatins, Tocantins



Figura 3. Reunião em Xambioá, Tocantins



Figura 4. Uso do Metaplan em Esperantina, Tocantins

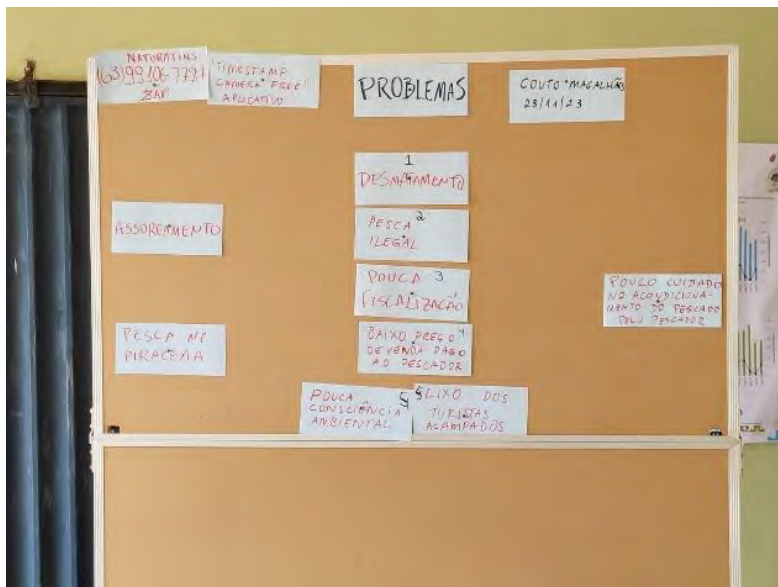


Figura 5. Priorização de problemas em Couto Magalhães, Tocantins

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro momento das reuniões, juntamente à equipe da Embrapa, o governo do estado do Tocantins esteve presente com representantes da Secretaria da Pesca e Aquicultura do Tocantins (SEPEA-TO), do Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins), além de um representante da The Nature Conservancy (TNC). A SEPEA destacou que a implementação do monitoramento de desembarques pesqueiros é uma estratégia consolidada como política governamental. Segundo a SEPEA, além dos cinco municípios, o monitoramento de desembarques será expandido a outros municípios tocantinenses a partir de 2024. O objetivo da SEPEA é gerar informações contínuas e participativas que subsidiem políticas públicas mais eficazes aos pescadores artesanais, promovendo maior visibilidade dessa atividade socioeconômica crucial para o Estado.

Dentre as demandas comuns ficou evidente que o desmatamento, a pesca ilegal, fiscalização com foco obliterado e melhores condições sanitárias foram as mais relevantes (Tabela 1). Os pescadores associaram o desmatamento à supressão de mata ciliar e a consequente migração parcial ou total de peixes que antes ocorrera em locais conhecidos, mas, por alteração de habitat, se deslocaram para outros ambientes. Importante salientar que o desmatamento na bacia Tocantins Araguaia, associado às queimadas é um problema crônico e muitas vezes é atrelado à expansão do agronegócio (Pereira, 2022; Bolson, 2018), sendo fruto de uma histórica e intensa ocupação do Cerrado brasileiro dominante na região centro-oeste do país (Faria e Castro, 2007).

Com relação à pesca ilegal, foram citadas algumas questões de desrespeito à legislação atual, como: (i) a pesca durante o defeso; (ii) a pesca subaquática/mergulho; (iii) redes de emalhe com malha inferior ao permitido; (iv); pesca nos rios estaduais e (v) ausência de fiscalização ambiental. Estes relatos são comuns na bacia Tocantins Araguaia (Silva-Junior *et al.*, 2019; Silva-Junior e Carvalho, 2015). Em alguns municípios do baixo Tocantins os pescadores têm diminuído a malha das redes para garantir uma pesca mais rentável, porém, eles acabam capturando peixes ainda em maturação (Vilhena, 2017).

Mesmo observando demandas em comum, cada município de acordo com sua história e cultura possui características diferentes. Estudos que abordem a complexidade da atividade pesqueira e que permitam traçar o perfil dos pescadores artesanais, são importantes para que seja possível propor medidas de políticas públicas mais ajustadas a cada localidade (Souza e Petreire-Jr, 2008). Os pescadores fazem parte de uma rede ecossistêmica e suas interações não devem ser observadas apenas sob o ponto de vista do uso e apropriação dos recursos naturais, mas também no contexto das relações sociais (Montenegro et al., 2001).

Tabela 1. Eleição de prioridades, por município, dos problemas que prejudicam o desenvolvimento da pesca artesanal no médio Araguaia, TO.

Município/ prioridade	Araguacema	Araguatins	Couto Magalhães	Esperantina	Xambioá
1	Falta de selo de inspeção e melhores condições para o pescado;	Falta de financiamento	Desmatamento	Desmatamento	Não tem fiscalização na piracema
2	Pesca e venda clandestina;	Pouca estrutura de transporte	Pesca ilegal	Pescado pouco valorizado	Saúde do pescador
3	Fiscalização inadequada;	Jacaré, boto	Pouca fiscalização	Pescaria de mergulho	Falta projetos para alfabetização do pescador
4	Pesca excessiva em Conceição do Araguaia;	Conflitos com donos de terra	Baixo preço de venda pago ao pescador	Não há fiscalização na piracema	Valorização do pescador (pescador é pobre?)
5	Fiscalização não diferencia os tucunarés	O peixe diminuiu	Pouca consciência ambiental e lixo dos turistas acampados	O peixe diminuiu	Falta incentivo aos jovens
6	Pesca nos rios estaduais por pescadores de fora	Dificuldade para pagar empréstimo ao banco	Assoreamento	Conflitos com fazendeiros	Dificuldade de financiamento em bancos
7	Não há porto de desembarque da colônia	Dificuldade de vender o peixe	Pesca na piracema	Colônia não tem porto de desembarque	Governo não enxerga a pesca
8	-	Conflitos entre pescadores	Pouco cuidado do acondicionamento do pescado pelo pescador	Difícil vender pescado em grande quantidade	Próprio pescador não valoriza sua atividade
9	-	Falta de porto para desembarque	-	Pescador com muitos problemas de saúde	Turistas armados
10	-	Comprador de fora (preço) marreteiro	-	Não dá pra viver só de pesca	Pesca subaquática ilegal
11	-	Distancia grande para o local de pesca	-	O jovem com pouco interesse na pesca	Conflitos com turistas
12	-	Desrespeito à piracema	-	Não pode entrar nos lagos	Conselho tutelar dificulta o aprendizado de jovens
13	-	-	-	Barragem de Marabá	Pescar não é diversão. O trabalho é duro !



Na maioria dos municípios visitados, o desmatamento e a fiscalização inadequada prejudicam significativamente a reposição dos estoques pesqueiros. Neste sentido, Santos e Monteiro (2020) recomendam uma maior atuação dos poderes públicos para modelos de conservação que incluam o conhecimento e o manejo da biodiversidade pelas populações tradicionais.

Em Araguacema, por exemplo, a pesca tem um papel fundamental na socioeconomia pois 87% de tudo que é capturado é comercializado localmente (Figura 6). Porém, a falta de um selo de qualidade e melhores condições sanitárias ao pescado faz com que vendedores clandestinos (pescadores ilegais/não regulamentados/de fora) vendam peixe livremente no município, sendo este o principal problema apontado. Já em Esperantina, cerca de 33% do pescado é destinado à subsistência (Figura 7), revelando a grande importância do peixe para a segurança alimentar no município. No entanto, a falta de fiscalização e a desvalorização do pescado contribuem para o empobrecimento e invisibilidade dos pescadores, problemas estes citados pelos pescadores.

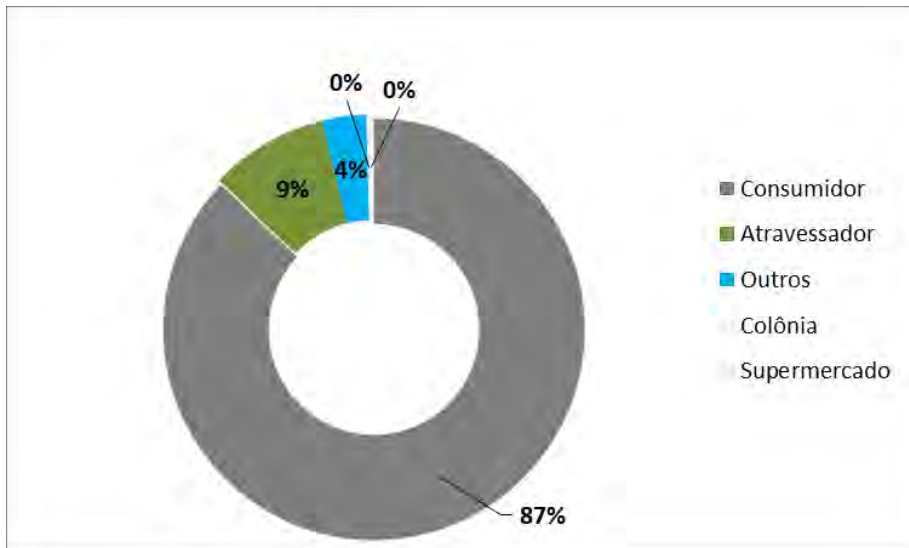


Figura 6. Principais destinos do pescado em Araguacema (Fonte: Propesca/Embrapa).

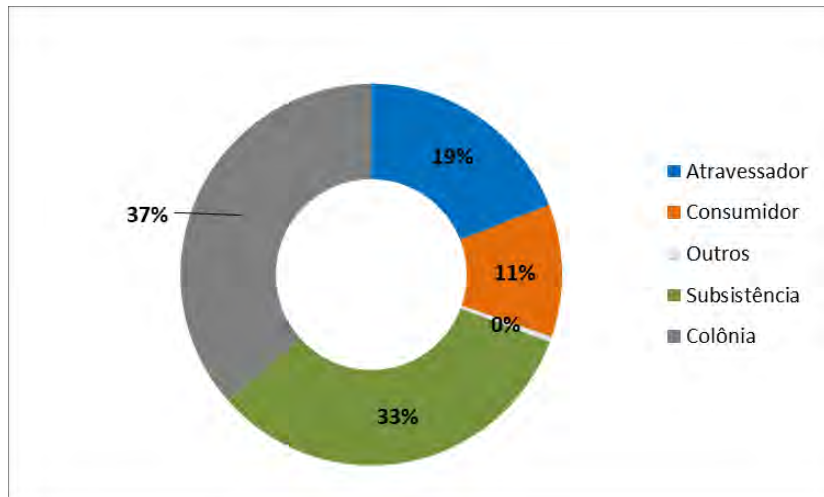


Figura 7. Principais destinos do pescado em Esperantina (Fonte: Propesca/Embrapa).

## CONCLUSÕES

Considerando as visitas técnicas e o histórico de monitoramento pesqueiro, assim como o entendimento sobre a abordagem participativa, a troca de experiência serviu para:

(i) Elevar a co-responsabilidade das comunidades pesqueiras e do Estado do Tocantins, na busca de estratégias de desenvolvimento da pesca artesanal, diminuindo as expectativas com relação aos resultados e definindo claramente o papel de cada ator no processo;

(ii) Incorporar os saberes tradicionais e técnicos para melhorar as condições nas tomadas de decisão em prol da pesca artesanal;

(iii) Aperfeiçoar as formas de articulação e representação de interesses, principalmente de grupos de pescadores ou atores da cadeia produtiva que são mais excluídos e/ou discriminados;

(iv) Refletir sobre a importância da coletividade na busca de estratégias de solução dos problemas identificados;

(v) Sugerir aos governantes maior atenção aos problemas desta cadeia produtiva na região, como por exemplo questões ligadas ao desmatamento, pesca ilegal, condições sanitárias para o pescado e melhorias do sistemas de saúde ao pescador.

## Agradecimento

Aos pescadores e lideranças da pesca artesanal de Araguacema, Araguatins, Couto Magalhães, Esperantina e Xambioá. Agradecemos também ao projeto “Diagnóstico e Plano Estratégico para atuação da Embrapa numa abordagem de Bioeconomia Inclusiva na Amazônia-BIAmazon” (SEG 40.22.02.001.00.00), no qual foi possível a realização deste trabalho.

## REFERENCIAS

- Bartley, D.M., De Graaf, G.; Valbo-Jørgensen, J. (2015). Commercial inland capture fisheries. In *Freshwater Fisheries Ecology*, J.F. Craig (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118394380.ch35>.
- Begossi, A. (2010). Small-scale fisheries in Latin America: management models and challenges. *MAST* 9: 5-12.
- Bolson. S.H. (2018). O Cerrado nas metas brasileiras do Acordo de Paris: A omissão do Estado brasileiro com o desmatamento na cumeieira da América do Sul. *Revista de Direito Ambiental E Socioambientalismo* | e-ISSN: 2525-9628 | Salvador | v. 4 | n. 1 | p. 112 – 131 | Jan/Jun. 2018.
- Brasil (2011). Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA. no- 12, de 25 de outubro de 2011a. Estabelece normas gerais à pesca e no período de defeso para a bacia hidrográfica do rio Araguaia. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, DF. Nº 206, 26 de out. 2011. Seção 1. p 124-126.
- Bursztyn, M. (2001). Políticas Públicas para o Desenvolvimento (Sustentável). In: *A difícil sustentabilidade: Política Energética e Conflitos Ambientais*. Rio de Janeiro: Garamond, 2001, p. 59-76.

- Cordioli, S. (2001). Enfoque Participativo do Trabalho com grupos. In: Markus Brose (org.) Metodologia Participativa. Uma Introdução a 29 instrumentos. Porto Alegre: Tomo Editorial, 2001. pp. 25 – 40.
- Dias, C. R. G.; Arruda Filho, J. I. N. de; Prysthon, A.; Machado, R. (2021). Perfil socioeconômico dos pescadores de pequena escala em Caseara, Tocantins, Brasil. Seminário de Ciências Sociais Aplicada, v. 7, n. 7, 2021. Edição dos Resumos da 3. Jornada Nacional de Desenvolvimento de Políticas Públicas, abril 2021. Evento online. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231564/1/scsa-2021.pdf>.
- Dias, C. R. G.; Silva, A. P. (2020) Principais petrechos e estratégias de captura da pesca artesanal do Rio Araguaia, Tocantins, Brasil. In: LAUFER, J.; MARQUES, E. E.; ATHAYDE, S.; SWANSON, A. C.; ZAGALLO, A. D. A. (Org.). Rios, terras e culturas: aprendendo com o sistema socioecológico do Tocantins. Porto Alegre: Editora Fi, 2020. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219498/1/cap-4.6.4.pdf>.
- Faria. K.M.S; Castro. S.S. (2007). Uso Da Terra E Sua Relação Com Os Remanescentes De Cerrado Na Alta Bacia Do Rio Araguaia (GO, MT E MS). GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 32, n. 3, p. 657-668, set./dez. 2007.
- Ferreira E, Zuanon J, Santos G dos, Amadio S. (2011). A ictiofauna do Parque Estadual do Cantão, Estado do Tocantins, Brasil. Biota Neotrop [Internet]. 2011Apr;11(2):277–84. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000200028>.
- Funge-Smith, S, Bennett, A. (2019). A fresh look at inland fisheries and their role in food security and livelihoods. Fish Fish. 2019; 20: 1176– 1195.
- Huynh, C. T. (1986). Participate in Development. Paris: UNESCO, 1986.
- Jacobi, P. R. (2003). Espaços Públicos e Práticas Participativas na Gestão do Meio Ambiente no Brasil. In: Revista Sociedade e Estado. Brasília: Editora UnB. n. 18, p. 315-338, 2003.

Latrubesse E.M.; Arima E.; Ferreira M.E.; Nogueira S.H.; Wittmann F.; Dias M.S.; Dagosta F.C.P; Bayer M. (2019). Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. *Conserv Sci Pract* 1:e77.

Mendanha, L. M.; Dias, C. R. G.; Silva, A. P. Da; Moro, G. V.; Ganeco, L. N.; Kirschnik, P. G. (2017). Planejamento participativo de pesquisa como instrumento de desenvolvimento da pesca artesanal no Rio Araguaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 20., 2017, Florianópolis. Tecnologia e inovação para pesca e aquicultura: anais. Florianópolis: FAEP-BR, 2017. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164544/1/CNPASA-2017-conbep2.pdf>

Montenegro, S. C. S.; Nordi, N.; Marques, J. G. (2001). Contexto cultural, ecológico e econômico da produção e ocupação dos espaços de pesca pelos pescadores de Pitu (*Macrobrachiu carcinus*) em um trecho do baixo São Francisco, Alagoas-Brasil. *Inter-ciência*, Caracas, v. 26, n. 11, 2001.

Pereira, S.M.C. (2011). Avaliação espaço-temporal de focos de calor na região hidrográfica Tocantins Araguaia, situada em parte da Amazônia Oriental e do Cerrado brasileiro (2005-2020). Orientador: Mayke Feitosa Progênio. 2022. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2022. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/5137>.

Prysthon, A.; Ummus, M. E.; Tardivo, T. F.; Pedroza Filho, M. X.; Chicrala, P. C. M. S.; Kato, H. C. De A.; Dias, C. R. G.; Paz, L. R. de S. (2022) A pesca artesanal no rio Araguaia, Tocantins, Brasil: aspectos tecnológicos e socioeconômicos. Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2022a. 94 p. il. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/232772/1/lv-pesca-artesanal-no-rio-Araguaia.pdf>.

Prysthon, A. (2021). "Gestão sem informação é ficção": como o monitoramento participativo da pesca artesanal pode subsidiar políticas públicas no Tocantins, Brasil. In: GUIMARÃES, L. L.; FREITAS, P. G. de (org.). *Ciências agrárias*

multidisciplinares: avanços e aplicações múltiplas. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2021. v. 1. p. 11-20. il. <https://www.editorapublicar.com.br/ciencias-agrarias-multidisciplinares-avancos-e-aplicacoes-multiplas->

Prysthon, A; Ummus, M.E. (2021). A pesca com arco e flecha e o conhecimento tradicional indígena na ilha do bananal, rio Araguaia, Tocantins, Brasil. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO DE PESCA, Anais...São Paulo, São Paulo, 2017. p.34-36.

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158950/1/CNPASA-2017-a.pdf>

Ribeiro M.C.L.B.; Petrere Jr M, Juras, A.A. (1995). Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia—Tocantins River basin, Brazil. *Regul Rivers: Res Manag* 11(3–4):325–350.

Rocha, J. D.; Bursztyn, M. A. (2016). A importância da participação social na sustentabilidade do desenvolvimento local. *Interações (Campo Grande)*, 7(11). <https://doi.org/10.20435/interacoes.v7i11.496>.

Santos, A.P.R; Monteiro, L. R. L. (2020). Um olhar sobre a pesca artesanal e a gestão dos recursos naturais em peixelândia, município de couro magalhães - tocantins. *Pracs: revista eletrônica de humanidades do curso de ciências sociais da unifap*, v. 13, p. 227-248-248, 2020.

Silva, A. P.; Farias, E. G. G. (2017). Caracterização participativa da frota pesqueira do Rio Araguaia - Tocantins, Brasil. *Magistra*, v. 29(1), p. 80-90, 2017. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173675/1/CNPASA-2017-magistra.pdf>.

Silva Júnior, A.R.; Cutrim Carvalho, A. (2015). Pesca predatória na bacia hidrográfica do rio Peixe Boi no Pará: uma discussão sobre as suas implicações socioambientais. *Pôster Meio ambiente. Anais do 4º Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, Belém-PA*, 2015.

Silva Júnior, A.R.; Rodrigues, S.C.M; Carvalho, A.C. (2019). Pesca predatória do mapará (*hypophthalmus spp.*) no município de limoeiro do ajuru (pa) e educação ambiental como instrumento mediador de interesses e conflitos. *Revbea*, São Paulo, V. 14, No 1: 81-100, 2019.

Souza, T.C.M.; Petrere-Jr, M. (2008). Characterization of small-scale fisheries in the Camamu-Almada basin, southeast state of Bahia, Brazil. *Brazilian Journal Biology*, v. 68, p. 711-719. 2008.

Tejerina-Garro, F. L. E.; Mérona, B. (2010). Flow seasonality and fish assemblage in a tropical river, French Guiana, South America. *Neotropical Ichthyology* [online]. 2010, v. 8, n. 1.

Vilhena, J.R. (2017). Acordos de pesca na Amazônia: uma análise das experiências de manejo comunitário dos municípios do baixo Tocantins no estado do Pará. *Anais do IX Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*, Uberlândia, MG. 2017.



# Acertando o alvo num quarto escuro. A urgência de uma estatística pesqueira contínua e confiável no Brasil

Hitting the target in a dark room.  
The urgency of continuous and  
reliable fishing statistics in Brazil

Adriano Prysthon

Embrapa Alimentos e Territórios, Maceió, Alagoas, Brazil

Correspondencia Adriano Prysthon  [adriano.prysthon@embrapa.br](mailto:adriano.prysthon@embrapa.br)

Palavras chave |  
produção pesqueira,  
estatística,  
políticas públicas

**RESUMO** | Como o setor pesqueiro, principalmente o artesanal, pode se desenvolver sem saber o que se pesca, onde pesca, como pesca e quanto pesca? Estas são perguntas básicas para se criarem políticas públicas mais adequadas e participativas, sejam elas de pesquisa, extensão, crédito, etc. Produzir pesquisa, por exemplo, sem ter informações produtiva básica é o mesmo que tentar acertar um alvo num quarto escuro. Por melhor que seja a hipótese científica, nunca se saberá seu o real impacto sem informação produtiva elementar. É nesta ótica que este artigo traz uma reflexão sobre a importancia de uma base de dados contínua e confiável visando a construção de uma estatística pesqueira robusta, permanente e pública no Brasil.

Keywords |  
fisheries yields;  
statistic;  
public policies.

**ABSTRACT** | How can the fishing sector, especially the artisanal one, develop without knowing what is fished, where to fish, how to fish and how much to catch? These are basic questions to create more appropriate and participatory public policies, be they research, technical assistance, credit, etc. Producing research, for example, without having basic productive information is the same as trying to hit a target in a dark room. No matter how good the hipotesis, the real impact of a research on the chain will never be known without elementary productive information. It is from this perspective that this article



reflects on the importance of a continuous and reliable database aimed at building permanent, robust and public fisheries statistics in Brazil.

## INTRODUÇÃO

Cerca de 120 milhões de pessoas vivem direta e indiretamente da pesca no mundo, fazendo girar a economia local e regional, preservando e perpetuando suas práticas culturais e ancestrais (Chuenpagdee e Jentoft, 2019, Lynch *et al*, 2016; FAO 2015). Das 92 milhões de toneladas de pescado oriundo da no mundo, 37 milhões vem da pesca artesanal (40%). Destes, 2/3 provém da pesca marinha e 1/3 da pesca continental (FAO, 2022a). Cerca de 490 milhões de pessoas dependem parcial ou totalmente da pesca artesanal, numa receita de 77 bilhões de dólares (FAO, 2022a). Na América Latina e Caribe (LAC), o setor artesanal representa 11% da produção mundial de pescado (Pauly e Zeller, 2016) e 74% da produção desta região em comparação com a pesca industrial (Salas *et al.*, 2019).

Ainda, a pesca representa inestimável valor de identidade cultural nos ambientes onde ocorrem, principalmente nos países em desenvolvimento (FAO, 2022b). Considerando recorte continental, mais de 90% das capturas da pesca artesanal estão nos países em desenvolvimento (Bartley *et al.*, 2015) como o Brasil.

No Brasil, a pesca é a atividade extrativa mais importante, sendo a pesca artesanal a responsável pela maior parte da produção (Begossi, 2010). Além da importância socioeconômica e na segurança alimentar, a pesca proporciona serviços culturais e ecossistêmicos fundamentais para a manutenção da cadeia produtiva e dos ambientes onde ocorre.

No entanto, mesmo com grande relevância, a pesca artesanal ainda padece de fragilidades crônicas históricas no Brasil, sendo a falta de informação produtiva, o principal desafio. O Brasil é o 12o produtor mundial de pescado oriundo da pesca continental, com 200 mil toneladas em 2020 (FAO,2022a). Porém, quando um país não reporta seus dados pesqueiros anualmente à FAO, a estimativa de produção é baseada em relatórios anteriores ou outras fontes disponíveis (Bartley *et al.*, 2015). O último boletim estatístico oficial de pesca brasileiro publicado

registrou uma produção total de 1,432 milhões de toneladas em 2011, um aumento de 13 % em relação a 2010 (MPA, 2012).

Desde montante, a pesca marinha foi responsável por 554 mil t (40 % do total) e a pesca continental por 257 mil toneladas (18%). Desde então, lamentavelmente não foi mais gerada estatística de produção pesqueira nacional. Entre 2011 e 2020 as tentativas de estatísticas pesqueira se basearam em extrapolações e estimativas de médias históricas defasadas há mais de uma década (Zamboni *et al.*, 2020) ou repetições de dados produtivos de anos anteriores (FAO, 2022a). A falta de informação pesqueira tem consequências nefastas para o desenvolvimento do setor (WorldBank *et al.*, 2010), com especulações de declínio ou de aumento da produção, porém sem reportes de dados e sem detalhamento das especificidades de cada região. Ou seja, a falta de informações básica sobre a pesca dificulta a análise do setor e torna a tomada de decisões problemática (Bartley, *et al.*, 2015).

Diante do cenário de “escuridão de informação” ao qual a pesca artesanal está submetida historicamente, este artigo traz uma reflexão sobre a importância do monitoramento de desembarques e uma base de dados contínua, confiável e pública visando a construção de uma estatística pesqueira e robusta no Brasil.

## MATERIAS E MÉTODOS

Para captar e consolidar as demandas e perceber os sinais e tendências sobre o futuro da gestão da pesca artesanal brasileira, foram realizadas duas consultas de forma remota (ambas em 2021) e uma revisão histórica documentada, a saber:

- (i) Prioridades eleitas do Relatório Técnico do Seminário Nacional de Prospecção de Demandas da Cadeia produtiva da Pesca-PROPESQUE-2012 (Lima *et al.*, 2012);
- (ii) Questionário sobre Sinais e Tendências da Pesca, de forma remota (google forms), com stakeholders da pesca artesanal (marinha e continental) localizados em todo o território nacional;
- (iii) Workshop de Oportunidades e Ameaças, também de forma remota porém, síncrona, com especialistas da pesca no Brasil.

Para a consulta de Sinais e Tendências da Pesca, foi desenvolvido e enviado um questionário online aos stakeholders e foram obtidas 74 (setenta e quatro) repostas. O questionário teve como objetivo revisitar as demandas eleitas como prioridade no PROSPESQUE-2012 (Tabela 1), relativas à pesca artesanal marinha e continental, bem como indicar à Embrapa se aquelas prioridades se enquadram na forma de Sinais (indícios de possíveis mudanças), Tendências (mudanças já consolidadas) ou Nenhuma das alternativas (quando nenhuma mudança foi verificada). Cada respondente julgou conforme sua percepção em cada prioridade e os resultados foram compilados apresentados proporcionalmente de acordo com a classificação indicada.

Tabela 1. Compilado das principais demandas, por ordem de prioridade, da pesca artesanal marinha e continental, eleitas em 2012, no PROSPESQUE-2012.

Prioridade	Demanda
1	Monitoramento e geração contínua de dados estatísticos da pesca como subsídio para políticas públicas e implementação de um plano nacional de monitoramento pesqueiro;
2	Realização de estudos sociais, biológicos, econômicos, ambientais e tecnológicos vinculados à atividade pesqueira;
3	Regularidade na obtenção de informações sobre a cadeia produtiva para monitoramento e orientação de políticas públicas;
4	Realização de pesquisas sobre instrumentos tecnológicos adequados ("tecnologia limpa"), relativos a: captura, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização;
5	Pesquisa continuada e ampliação do conhecimento acerca da biologia e dinâmica populacional dos recursos pesqueiros e demais espécies afetadas pela pesca;
6	Desenvolvimento de abordagens ecossistêmicas para diagnosticar, avaliar e monitorar a sustentabilidade dos estoques e dos sistemas aquáticos explorados;
7	Elaboração dos planos de gestão dos recursos pesqueiros;
8	Maior investimento em pesquisa e monitoramento;
9	Interlocução entre as diferentes áreas do conhecimento que possam subsidiar o uso sustentável dos recursos pesqueiros. Disponibilização de informações confiáveis e de tecnologias qualificadas, com a devida abrangência biológica, ecológica e socioeconômica;
10	Estruturação dos órgãos nacionais responsáveis pelo ordenamento pesqueiro e articulação entre as instituições (públicas ou privadas) na condução de projetos de pesquisa relacionados a recursos pesqueiros.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os respondentes do questionário online representaram 70 instituições diferentes, sendo mais da metade representando as Universidades e Institutos de pesquisa (51%), seguido pelas Organizações da Sociedade Civil e Movimentos populares (33%), Órgãos Federais e Estaduais (9%) e Unidades da Embrapa (7%) (Figura 1). É importante salientar que a pesquisa teve o caráter de percepção, ou seja, de avaliar a compreensão de cada indivíduo sobre o contexto atual da pesca artesanal, suas expectativas, satisfações e insatisfações, julgamentos e condutas a respeito das demandas da pesca artesanal.

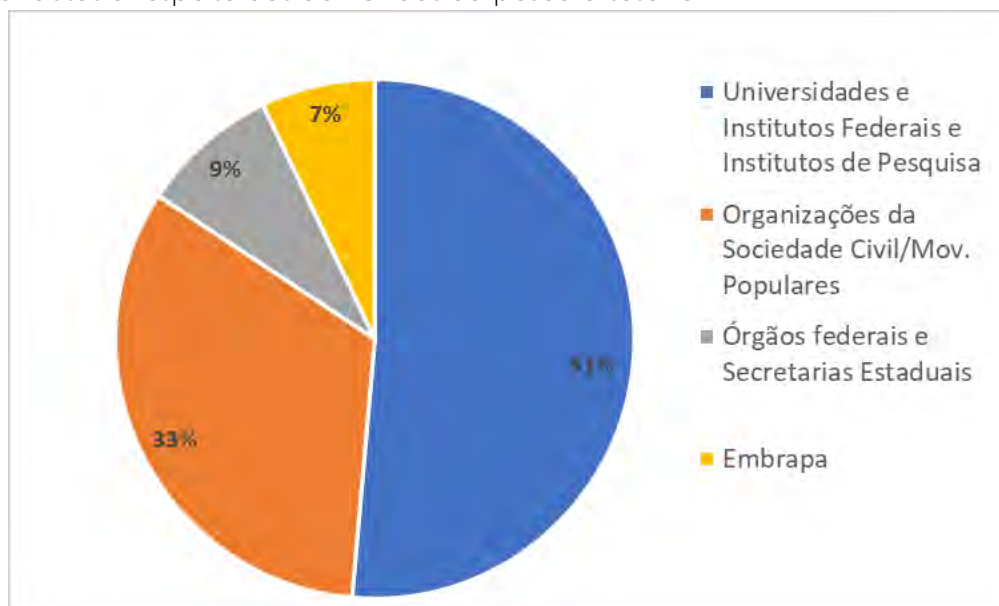


Figura 1. Representatividade (%) das instituições respondentes da pesquisa Sinais e tendências em 2021.

A geração contínua de dados sobre a pesca (monitoramento), prioridade máxima do prosespique-2012, mesmo após 11 anos, foi percebida como nenhuma mudança verificada com 43% dos respondentes. Porém, é também enxergada como sinal por 36% dos entrevistados e 20% como tendência (Figura 2). Na prática, a percepção dos 43% em “nenhuma mudança verificada” indicou que o Brasil continua sem monitoramento de desembarques e estatística pesqueira. No entanto, alguns Estados da federação mantém um programa de coletas

sistemática como São Paulo (IP-APTA-SP, 2023), Rio de Janeiro (FIPERJ, 2023) e Santa Catarina (UNIVALI, 2023).

Prioridade	Demanda	Sinal	Tendência	Nenhuma das anteriores
1	"Geração contínua de dados estatísticos da pesca como subsídio para políticas públicas e implementação de um plano nacional de monitoramento pesqueiro.	36,50%	20%	43,20%
2	"Estudos e pesquisas integradas, bem como estudos sociais, biológicos, econômicos, ambientais e tecnológicos vinculados à atividade pesqueira."	47,30%	32,40%	20,30%
3	Dados científicos para embasar as medidas de ordenamento para a pesca artesanal brasileira	47,30%	27%	25,7%;
4	Estudos de avaliação de impactos sobre a pesca artesanal e os recursos pesqueiros oriundos de empreendimentos (exemplos: Usinas hidrelétricas, portos, petróleo e gás, ocupação urbana, etc.)	32,40%	47,30%	20,30%
5	Estudos com enfoque ecossistêmico para subsidiar a gestão de áreas de pesca e/ou exclusão."	48,60%	28,40%	23%
6	"Políticas públicas de estímulo à pesca e/ou comercialização do pescado à sustentabilidade dos estoques	40,50%	13,5%.	45,9%.
7	"Capacitação na manipulação do pescado na captura, comercialização e beneficiamento."	36,5%.	27%	36,5
8	"Conhecimentos sobre a biologia das espécies, distribuição geográfica, ecologia e dinâmica populacional dos recursos pesqueiros."	28,40%	47,3%.	24,3%.
9	"Identificação, prevenção e desenvolvimento estratégias de solução de conflitos que envolvam múltiplos usuários dos recursos pesqueiros e ecossistemas aquáticos."	39,20%	28,40%	32,40%
10	"Valorização do conhecimento tradicional, dos territórios da pesca e da segurança alimentar através do peixe.	33,80%	40,5%.	25,7%.
11	"Propostas mais participativas de Gestão da Pesca, promovendo maior inclusão socioeconômica (exemplo: Acordos de Pesca, Reserva Extrativista, etc.)."	44,60%	39,20%	16,2%.

Maior porcentagem de votos
  Porcentagem média de votos
  Menor porcentagem de votos

Figura 2. Percepção proporcional (%) dos Sinais e Tendências fruto do questionário online com stakeholders da pesca artesanal, baseado nas prioridades do Prospesque-2012.

No entanto, este programa estaduais ainda tem pouca conexão com políticas públicas nacionais. As demais prioridades cuja maioria dos votos foram considerados como "nenhuma mudança verificada" foram: Políticas públicas de estímulo à pesca e; Capacitação em manipulação de pescado. Já as questões cuja maioria dos entrevistados percebeu como "Tendência" diz respeito a: Avaliações de impacto sobre a pesca; Conhecimento sobre a biologia das espécies e; Valorização do conhecimento tradicional. Por fim, as demais prioridades foram percebidas pela maioria como "Sinas" (indícios de possíveis mudanças), a saber: Estudos e pesquisas integradas, dados científicos para embasar medidas de ordenamento, estudos com enfoque ecossistêmico; Capacitação em manipulação de pescado; Estratégias de solução de conflitos e; propostas mais participativas de gestão (Figura 2).

Adicionalmente, no questionário, houve um espaço para observações escritas dos respondentes caso pudessem sugerir novas ações que não foram contempladas na lista de prioridades do PROSPESQUE-2012. Elas foram agrupadas conforme a similaridade e têm interação direta ou indireta com as demandas descritas nas Figuras 1 e 2, a saber:

- Maior ativismo e organização das comunidades de pesca exigindo seus direitos;
- Melhor uso dos recursos pesqueiros, principalmente das espécies marinhas que são descartadas;
- Estudos voltados para a implantação de Unidades de Beneficiamento de e agregação de valor do pescado e aproveitamento de espécies subutilizadas e descartadas;
- Aumento da pesca ilegal em Unidades de Conservação Federal/Estadual pela falta de fiscalização;
- Incorporar novos petrechos de pesca com maior esforço de captura;
- Descontentamento da base pesqueira com as atuais ações do Governo Federal (gestão 2018-2022) dentre elas: o desmonte sistemático da participação da sociedade civil em fóruns importantes (OEMAs, CONAMA, etc.), o enfraquecimento de instituições ambientais (ICMBio, IBAMA, etc.) correlatas à pesca artesanal; violação de direitos humanos com a espoliação de territórios pesqueiros;
- Plataforma digital de coleta de informações sobre valor de venda do pescado pelo produtor primário artesanal;

- Criação de polos de aquicultura em comunidades pesqueiras;
- Ausência de assistência técnica para a pesca artesanal;
- Distanciamento das políticas de cobertura de direitos trabalhistas aos pescadores artesanais;
- Distanciamento do Plano Nacional de Desenvolvimento da Pesca e da Aquicultura;
- Ordenamento pesqueiro restritivo e sem a participação popular nas tomadas de decisão;
- Pouca conexão de pesquisa entre Universidades;
- Maior qualificação técnica de organizações da sociedade civil em fóruns temáticos da pesca.

O Workshop Oportunidades e Ameaças trouxe questões importantes para a gestão da pesca no Brasil, sendo as principais, listadas na Tabela 2, e que reforçam em algum grau as demandas listadas na pesquisa Sinais e Tendências, porém evidenciando consequências desejáveis baseado no cenário atual.

A questão do monitoramento de desembarques, por exemplo, o futuro almejado se reflete numa estatística pesqueira estruturada e eficiente, tendo como oportunidade o desenvolvimento de pesquisas. Outro acontecimento relevante, e que ressurge depois de anos de descaso, foram os Comitês Permanentes de Gestão-CPG, de caráter consultivo e de assessoramento, com o objetivo de subsidiar a gestão para o uso sustentável dos recursos pesqueiros.

Tabela 2. Resumo do cenário atual, futuro desejado, ameaças e oportunidades para a Pesca brasileira, identificados no Workshop.

Cenário Atual	Futuro desejado	Ameaças	Oportunidades
Ausência de uma estatística pesqueira nacional, impossibilitando qualquer planejamento.	Uma estatística pesqueira nacional estruturada e eficiente	Redução ou extinção das populações naturais de peixes devido a causas externas à pesca.	Fomentar e desenvolver pesquisas.

... Cont. tabela 2.

Cenário Atual	Futuro desejado	Ameaças	Oportunidades
Ausência de órgãos colegiados participativos (CPGs) essenciais para balizar o processo de gestão.	Órgãos colegiados participativos (CPGs) essenciais para balizar o processo de gestão recriados e plenamente funcionais.	Ameaça: a construção de políticas públicas (publicação de normas) sem bases técnico/científicas e ou/não contemplando os diferentes usuários. Isso tem ocorrido sobretudo no nível estadual e implica em desgaste institucional, assimetrias e ineficiência da gestão.	Cooperação Internacional – Fomento a melhoria da qualidade e práticas sustentáveis.
Graves deficiências no Sistema de Registro Geral da Pesca (RGP).	Sistema de Registro Geral da Pesca (RGP) plenamente operacional e integrado com os outros bancos de dados governamentais	Ameaça: gestão ineficiente para equacionar os conflitos de interesse entre os atores da pesca.	Melhor comunicação entre sistemas digitais (GOV.BR).
Fiscalização da atividade deficiente, inadequada e sem foco.	Condição dos estoques pesqueiros periodicamente avaliada e monitorada, permitindo a definição de Captura Máxima Permitida e quotas de captura	Constantes Transições de Governo (gestão).	Gestão por resultados – Implementação.
Ausência de pesquisas voltadas para a avaliação e monitoramento da condição dos estoques.	Fiscalização da atividade pesqueira eficiente, com abordagem educativa e prioridades bem definidas.	Descontinuidade de Projetos do Governo anterior.	Parceria com fundos constitucionais, ou de compensação ambiental, ou mesmo orçamentários do próprio MAPA, garantem os recursos necessários, de forma PERENE para a construção de um Sistema Nacional de Estatística Pesqueira.
Ordenamento Pesqueiro extremamente complexo com grande número de atos normativos e grave insegurança jurídica.	Ordenamento Pesqueiro simplificado, construído de forma participativa e com segurança jurídica.	Falta de integração entre sistemas digitais.	Parceria com Universidades e Institutos de Pesquisa, por meio dos Subcomitês Científicos dos CPGs, permitem a avaliação periódica e o monitoramento dos principais estoques pesqueiros explorados.



... Cont. tabela 2.

Cenário Atual	Futuro desejado	Ameaças	Oportunidades
Falta de controle higiênico-sanitário na cadeia produtiva.	Acesso a produtos de qualidade.	Insegurança Jurídica (Legislações conflitantes - Federal vs. Estadual).	CPGs recriados, com a gestão pesqueira nacional sendo realizada através de Planos de Gestão, construídos de forma participativa por meio da AEGP-Abordagem Ecológica na Gestão Pesqueira.
Pouca ênfase na pesca artesanal.	Atos normativos revisados e atualizados.	Restrição de recursos públicos.	A introdução de Sistemas Integrados de Monitoramento Eletrônico da Pesca, com câmeras a bordo, mapa de bordo eletrônico e VMS asseguram o monitoramento das embarcações e da produção pesqueira nacional.
Faltam mais parcerias (ACT).	Retomada exportações (controle higiênico-sanitário).	Falta de recursos financeiros e humanos para implantação da estatística pesqueira nacional.	Iniciativas de auto-monitoramento a partir da participação das comunidades pesqueiras maximizam a cobertura e acurácia da Estatística Pesqueira Nacional.
Legislações antigas.	Pesca esportiva devidamente implementada.	Instabilidade política e descontinuidade institucional.	Acompanhamento efetivo e funcional de planos de gestão de uso do recurso pesqueiro, seus atores e ambiente.
Pescadores não tem costume de acompanhar e desenvolver atividades e políticas públicas para o benefício da classe, apenas de forma individual.	Setor pesqueiro mais visível para sociedade em geral.	Ausência de dados.	Construção de um plano de gestão da pesca, com objetivos de curto, médio e longo prazos.

... Cont. tabela 2.

Cenário Atual	Futuro desejado	Ameaças	Oportunidades
Falta de representações efetivas para o setor.	Maior e melhor participação da pesca nos processos de tomada de decisão.	Na pesca de água doce, a degradação ambiental é uma ameaça séria para a pesca.	Implantação de um sistema de coleta de dados de pesca - nacional e como política de estado.
baixo nível tecnológico.	Implantação de estratégias integradas de manejo. Cuidado com populações com ampla distribuição.	Manutenção do status quo do processo de tomada de decisão.	Criar mecanismos para gestão compartilhada como por exemplo Conselhos estaduais de pesca.
Alguns estoques estão sobre-explotados.	Dados de captura e esforço coletados.	Ausência / redução de recursos para pesquisa impede a proposição de estratégias robustas e o desenvolvimento de tecnologia.	Desenvolvimento e implantação, em bases participativas, de sistemas de monitoramento e estatística pesqueira adequado para as diferentes bacias/regiões pesqueiras, considerando a pratica os diferentes usuários.
Pequena capacidade de participação nos processos decisórios.	Políticas públicas de gestão baseadas em informações robustas.	Falta de bases de dados públicas estruturadas e integradas para subsidiar a gestão pesqueira em relação a: - Monitoramento/estatística - Biologia/Avaliação de estoques - Tecnologia da Pesca/ transporte - conservação - processamento de pescado/ Mercado/Cadeia produtiva. - Socioeconomia.	Envolvimento dos atores da pesca e gestores (atores públicos e privados) na construção dos conhecimentos, dos planos de manejo e na gestão pesqueira.
Impossível deixar de citar que o cenário atual da pesca tem incertezas associadas à pandemia.	Construção de políticas públicas voltadas para a pesca em bases técnico/científicas e que contemple os interesses dos diferentes usuários.	Redução ou extinção das populações naturais em função de causas externas à pesca: - Interrupção de processos ecológicos (ex: construção de represas nas rotas migratorias) - Alteração da qualidade água/ambiente (ex: remoção vegetação e poluição de diferentes formas).	Estabelecimento de parcerias entre os atores sociais da pesca para o desenvolvimento e implantação de sistemas de monitoramento e produção dos conhecimentos necessários para a gestão.

... Cont. tabela 2.

Cenário Atual	Futuro desejado	Ameaças	Oportunidades
Falta de políticas públicas adequadas para desenvolver o seu potencial e vencer os desafios de gestão e as ameaças aos recursos naturais.	Desenvolvimento de políticas públicas para a pesca a fim de estruturar bases de dados, num modelo participativo, sobre: (1) Monitoramento/estatística; (2) Biologia/Avaliação de estoques; (3) Tecnologia da Pesca/ transporte - conservação - processamento de pescado/ Mercado/Cadeia produtiva/ Perfil Socioeconômico.	Situações em que ocorre a construção de políticas públicas (publicação de normas) sem bases técnico/científicas e ou/não contemplando os diferentes usuários, que leva ao desgaste institucional, assimetrias e ineficiência da gestão.	
Falta de bases de dados públicas estruturadas e integradas para subsidiar a gestão pesqueira.	Interação da gestão pesqueira com os demais setores da sociedade, a fim de que as opções de desenvolvimento sejam compatíveis com a manutenção (1) dos processos ecológicos importantes para a ictiofauna e (2) com a qualidade água/ambiente.	Conflitos de interesse entre os atores da pesca profissional artesanal x amadora, que devem ser satisfatoriamente equacionados pela gestão.	

## CONCLUSÕES

Considerando o contexto atual da pesca artesanal (marinha e continental) no Brasil, a revisão do PROSPESQUE-2012, a pesquisa Sinais e Tendências da Pesca e os resultados do Workshop Oportunidades e Ameaças, conclui-se que a estatística pesqueira deve ser priorizada e ainda se configura como o principal gargalo da pesca artesanal no Brasil. Uma vez que, sem informação não há gestão. Levantar dados de forma confiável e contínua é fundamental para subsidiar políticas públicas.

Portanto, recomenda-se fortemente um Plano Nacional de Monitoramento Pesqueiro, considerando as diferentes peculiaridades regionais. Importante

ressaltar que o atual Governo federal retomou os esforços com o recém recriado Ministério da Pesca e Aquicultura, que tem em sua estrutura organizacional a Secretaria Nacional Registro, Monitoramento e Pesquisa, o que sinaliza positivamente para um futuro no qual a estatística pesqueira está sendo priorizada.

## REFERENCIAS

Bartley, D.M., De Graaf, G. And Valbo-Jørgensen, J. (2015). Commercial inland capture fisheries. In *Freshwater Fisheries Ecology*, J.F. Craig (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118394380.ch35>

Begossi, A. 2010. Small-scale fisheries in Latin America: management models and challenges. *MAST* 9: 5-12.

Chuenpagdee, R., Jentoft. 2019. *Transdisciplinarity for Small-Scale Fisheries Governance*. eBook ISBN 978-3-319-94938-3. DOI 10.1007/978-3-319-94938-3. Disponível em: <https://www.springer.com/us/book/9783319949376#aboutBook>.

Lynch A.J., Steven J. et al. The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries. *Environmental Reviews*. 24(2): 115-121. 2016.

Scaramuzza CAM, Sano EE, Adami M, Bolfe EL, Coutinho AC (2017) Land-use and Land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images. *Rev Bras Cartografia* 69(6):1041–1051. 2017.

FAO, 2015. *Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication*. FAO, Rome, 34. Disponível: <http://www.fao.org/3/i8347en/I8347EN.pdf>

FAO. 2022a. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

FAO, Duke University and WorldFish. 2022b. Small-scale fisheries and sustainable development: Key findings from the Illuminating Hidden Harvests report. Rome, FAO; Durham, USA, Duke University; Penang, Malaysia, WorldFish.

IP/APTA/SAA/SP. Estatística Pesqueira Marinha e Estuarina do Estado de São Paulo. Consulta On-line. Programa de Monitoramento da Atividade Pesqueira Marinha e Estuarina do Estado de São Paulo. Instituto de Pesca (IP), Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA/SP). Disponível em: <http://www.propesq.pesca.sp.gov.br/>.

FIPERJ. Estatística Pesqueira do Estado do Rio de Janeiro. Consulta On-line. Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira no Estado do Rio de Janeiro. Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro (FIPERJ). Disponível em: <http://pescarj.fundepag.br/>

Funge-Smith, S, Bennett, A. A fresh look at inland fisheries and their role in food security and livelihoods. *Fish Fish*. 2019; 20: 1176– 1195.

Isaac, V. J. *et al*. Food consumption as an indicator of the conservation of natural resources in riverine communities of the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* [online]. 2015, v. 87, n. 4.

Lima, *et al.*, 2012. Relatório técnico do Seminário Nacional de Prospecção de Demandas da Cadeia Produtiva da Pesca: PROSPESQUE / Adriana Lima ... [*et al.*]. – Brasília, DF : Embrapa, 2012. 88 p. : il. ; 20 cm x 30 cm.

Marcial, E.C; Pio, M.J. Megatendências mundiais 2040: contribuição para um debate de longo prazo para o Brasil / organização : Elaine C. Marcial; Marcello José Pio. – Brasília, 2023. 459 p.: il., gráf., fot., color. Inclui bibliografia ISBN: 978-65-00-60610-2.

MPA, 2013. Boletim do registro geral da atividade pesqueira –RGP 2012.

MPA, 2011. Boletim Estatístico de Pesca e Aquicultura. Ministério da Pesca e Aquicultura.

- MAPA, 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Aquicultura e Pesca- Rede Nacional Colaborativa para a Gestão Sustentável dos Recursos Pesqueiros - Rede Pesca Brasil. Comitê Permanente de Gestão da Pesca e do Uso Sustentável dos Recursos Pesqueiros Continentais das Bacias Amazônica e Tocantins-Araguaia (CPG Norte) recomendações da 1ª sessão ordinária (reunião mista) Manaus/AM, 06 e 07 de outubro de 2022 (<https://bit.ly/3PkWikM>)
- Meroni, A. 2008. Strategic design: where are we now? Reflection around the foundations of a recent discipline. *Strategic Design Research Journal*, v. 1, n. 1, p. 31–38.
- Oviedo Af, Bursztyn M. The Fortune of the Commons: Participatory Evaluation of Small-Scale Fisheries in the Brazilian Amazon. *Environ Manage*. 2016.
- Pauly, D., Zeller, D. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nat Commun* 7, 10244 (2016).
- Salas, S., Barragan-Paladines, M. J., Chuenpagdee, R. (Eds.), 2019. Viability and Sustainability of Small-Scale Fisheries in Latin America and The Caribbean. eBook ISBN 978-3-319-76078.
- UNIVALI/EMCT/LEMA. Estatística Pesqueira de Santa Catarina. Consulta On-line. Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira do Estado de Santa Catarina. Laboratório de Estudos Marinhos Aplicados (LEMA), da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia (EMCT) da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). 2022. Disponível em: <http://pmap-sc.acad.univali.br/>.
- WorldBank, FAO & WorldFish Center (2010) The Hidden Harvests. The Global Contribution of Capture Fisheries Agriculture and Rural Development Department Sustainable Development Network. Washington: World Bank, 62 pp.

Zamboni, A. Auditoria da pesca: Brasil 2020 [livro eletrônico]: uma avaliação integrada da governança, da situação dos estoques e das pescarias/Ademilson. Zamboni, Martin Dias, Lara Iwanicki. -- 1. ed. -- Brasília, DF: Oceana Brasil, 2020.



# Nomes comuns de peixes e implicações nas políticas públicas da pesca artesanal na bacia Tocantins-Araguaia, Brasil

Fish common names and its effects on public policies of artisanal fisheries in Tocantins-Araguaia basin, Brazil

Adriano Prysthon<sup>1</sup>, Marta Eichemberger Ummus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Alimentos e Territórios, Maceió, Alagoas, Brazil

<sup>2</sup>Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, Tocantins, Brazil

Correspondencia Adriano Prysthon  [adriano.prysthon@embrapa.br](mailto:adriano.prysthon@embrapa.br)

Palavras chave | produção pesqueira, comunidades tradicionais, monitoramento desenvolvimento

**RESUMO** | Nomes comuns de peixes valorizam o conhecimento tradicional, mas dificultam a gestão pesqueira em âmbito regional/nacional e fragiliza medidas de ordenamento pesqueiro e ambiental eficientes. Um estudo em sete municípios do Tocantins, entre 2017 e 2021, identificou mais de 135 exemplares de peixes com nomes diferentes com o objetivo de descrever sua variabilidade e implicações na gestão pública. Conclui-se que a variabilidade de nomes comuns reforça a necessidade de: (i) padronizar nomes comuns nas diferentes esferas governamentais inclusive regionalmente na bacia; (ii) promover uma gestão mais participativa “com” e não “para” as comunidades ribeirinhas e; (iii) o estabelecimento de programas de monitoramento participativo de desembarques pesqueiros como fonte primordial, valiosa e confiável de informação. Espera-se que o conjunto de ações sugerido acima, possa contribuir para caminhos mais seguros de gestão, com políticas públicas mais adequadas e socialmente justas para o futuro da pesca artesanal na bacia Tocantins-Araguaia, Brasil.



Keywords |  
fisheries yields;  
traditional communities;  
monitoring;  
development

**ABSTRACT** | Common names of fish reflect the richness of local traditional knowledge, but brings a environmental challenge in fisheries management policies at regional/national level. We showed in seven municipalities of Tocantins state, between in 2017 and 2021, put a lighth over 135 differents fish common names to describe their variability over the time and it effects on the management policies. It is concluded that the variability of common names reinforces the need to: (i) standardize common names in different government spheres (ii) promote more participatory management “with” and not “for” riverside communities; (iii) unify a database with co-participating states in the Tocantins-Araguaia basin and (iv) establish participatory monitoring programs for fishing landings as a primary, valuable and reliable source of information. It is hoped that the set of actions suggested above can contribute to safer management paths, with more appropriate and socially fair public policies for the future of artisanal fishing in the Tocantins-Araguaia basin, Brazil.

## INTRODUÇÃO

A bacia Tocantins-Araguaia é a segunda maior do Brasil com uma área de drenagem de 767,000 km<sup>2</sup>, estando totalmente inserida no território brasileiro. Sua biodiversidade aquática é consideravelmente relevante, principalmente com relação às áreas alagadas do rio Araguaia (Ribeiro, *et al* 1995; Latrubesse *et al.*, 2019) e por ser uma zona de transição entre a floresta amazônica e o cerrado (Ferreira *et al.*, 2011). O pulso anual de inundação na planície do Araguaia propicia habitats com maior produção e diversidade de ictiofauna (Tejerina-Garro e Mérona, 2010). Consequentemente, esta diversidade da ictiofauna é amplamente disponibilizada como recurso pesqueiro a populações ribeirinhas que fazem da pesca artesanal sua principal atividade econômica.

A pesca é a atividade extrativa mais importante no Brasil, sendo a pesca artesanal a responsável pela maior parte da produção (Begossi, 2010). Mundialmente, mais de 90% das capturas da pesca artesanal continental estão nos países em desenvolvimento (Bartley *et al.*, 2015) como o Brasil, sendo esta atividade um componente vital para a subsistência de milhares de comunidades tradicionais. A pesca artesanal exerce um papel importante na redução da pobreza, na segurança alimentar, empoderamento de gênero, manutenção da

socioeconomia e dos serviços culturais e ecossistêmicos (Funge-Smith e Bennett, 2019). Neste sentido, alguns fatores podem contribuir para identificar mudanças nos rendimentos da pesca artesanal. Um exemplo é a caracterização da composição de captura baseada nos nomes comuns (e sinônimos) dados aos peixes comerciais (Ramos, *et al.*, 2021). A diversificação de nomes populares dados a um mesmo peixe valoriza a cultura local, mas gera ruídos e erros de análise, fragilizando a compilação de dados para a estatística pesqueira. Um exemplo clássico é a *Sardinella brasiliensis* que pode ter suas capturas maiores do que é registrado oficialmente devido a utilização de diferentes nomes comuns (Freire e Pauly, 2005). Esta fragilidade dificulta uma avaliação mais precisa dos estoques, pois a estatística generaliza ao registrar apenas um nome popular (Vasconcellos *et al.*, 2007). As sucessivas falhas de registro dificultam o planejamento de melhores medidas de exploração e manejo dos recursos pesqueiros. No Brasil, a diversidade cultural da população também é refletida nos nomes comuns de peixes. Freire e Pauly (2003) indicaram, numa escala nacional, uma média de seis nomes populares para cada peixe marinho e três para cada peixe de água doce (Freire, 2006). A nomenclatura científica surge como facilitadora na comunicação entre diferentes culturas e linguagens (Freire e Carvalho-Filho, 2009).

Porém, em se tratando da diversidade cultura brasileira, a origem dos nomes comuns é plural. As principais são o Latim, Tupi-guarani e brasilianista (Freire e Carvalho-Filho, 2009) em que as características como cor, comportamento, morfologia, animais (não-peixes) e até nomes de pessoas são considerados. Adicionalmente, mas considerado um problema crônico, a falta de informação estatística sobre a pesca artesanal também é um gargalo que agrava esta questão por gerar falácias e incertezas sobre a atividade (FAO, 2020). O que ocasiona em poucas e ineficientes políticas públicas direcionadas ao uso dos recursos pesqueiros. Para a pesca artesanal continental, o gargalo é ainda maior, pois há uma lacuna de dados e conhecimentos quando comparados com a pesca marinha, além da baixa quantidade de referências científicas (Alves e Minte-veras, 2013) e de uma gestão pesqueira centralizada. Neste sentido, a necessidade de uma gestão pesqueira mais participativa e inclusiva é urgente, pois as políticas de ordenamento atuais são pouco eficientes e baseadas apenas no controle direto pelo Governo, sejam em restrições sazonais de pesca (defeso), no tamanho de captura das espécies e/ou do tipo de petrechos permitidos. Se

um pescador estiver dentro destes limites permitidos por lei, pode pescar o quanto quiser sem limites, podendo comprometer seriamente os estoques. Ou seja, na prática o ordenamento pesqueiro não funciona (Corrêa *et al.*, 2014). Na pesca marinha, os subsídios pesqueiros destinados ao setor entre 1960 e 1980 proporcionaram um crescimento significativo nas capturas sem levar em conta a sustentabilidade dos estoques (Abdallah e Sumaila, 2007). Na construção de políticas públicas para a pesca artesanal, deve ser considerado o conhecimento tradicional dos pescadores, visando preencher as lacunas científicas sobre a interação do ambiente e a ictiofauna (Braga *et al.*, 2018; Huntington, 2011).

A identificação dos peixes por nome é um passo importante na construção do conhecimento tradicional, na relação com o ambiente, na consolidação dos territórios e na transmissão para as gerações futuras (Begossi *et al.*, 2011; Previero *et al.*, 2011; Wilson *et al.*, 2006).

Portanto, objetiva-se aqui descrever e discutir a diversidade de nomes comuns de peixes comercialmente explorados pela pesca artesanal, por intermédio de uma série histórica de cinco anos, visando subsidiar melhores políticas de ordenamento pesqueiro aos gestores públicos e lideranças comunitárias na Bacia Tocantins-Araguaia.

## MATERIAS E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu a região do médio-Araguaia, na bacia Tocantins-Araguaia, a montante da UHE Tucuruí, nos municípios tocantinenses com suas respectivas coordenadas geográficas: Esperantina (-5.33256,-48.53307), Araguatins (-5.64867, -48.11508), Xambioá (-6.41055,-48.52625), Couto de Magalhães (-8.42903,-49.18222), Araguacema (-8.80646,-49.55683), Araguaianã (-6.58208, -48.6431) e Caseara (-9.27197,-49.95692) (Figura 1). O poder de captura da frota é relativamente baixo se comparado à região amazônica. A frota pesqueira artesanal no rio Araguaia é composta de aproximadamente 2 mil embarcações feitas em madeira e alumínio, e a maioria das expedições é realizada com dois tripulantes (varia entre 2 e 5). Os principais tipos de propulsão são os motores de popa (15 a 25 HP) e rabeta (5 a 9 HP) (Silva e Farias, 2017) e as principais estratégias de pesca são as redes de emalhe/malhadeiras

(predominante), as linhas e anzóis, e flechas e arpões (Prysthon *et al*, 2022; Prysthon e Ummus, 2017).

O período de coleta de dados foi entre os anos de 2017 a 2021, oriundo de duas fontes diferentes: (i) expedições científicas e (ii) projetos de monitoramento pesqueiro participativo. As expedições científicas foram realizadas em 2017, 2018 e 2019 no município de Caseara-TO, por técnicos acompanhados de pescadores locais. Nestas expedições foram utilizadas redes de emalhe com diferentes tamanhos de malha entre nós. Foram realizados 310 lances, com duração média de 3 horas por lance. A variabilidade de tamanhos de malha foi importante para a captura de uma diversidade maior da ictiofauna (Tejerina-Garro e Mérona, 2001).

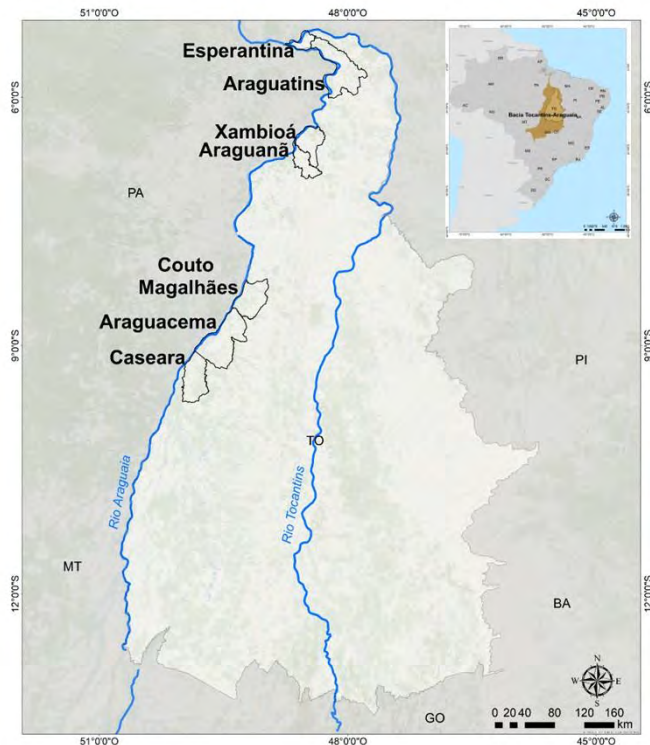


Figura 1. Área de abrangência das coletas de peixes no rio Araguaia com destaque aos municípios do Tocantins. (Fonte: Marta EicheMBERGER Ummus/Embrapa).

Com relação ao monitoramento pesqueiro participativo, o período de coleta de dados foi 2019 e 2020, sendo registrado um total de 4.512 desembarques nos municípios de Araguacema (679), Araguatins (474), Araguaianã (41), Esperantina (1317), Couto Magalhães (1010) e Xambioá (991). O uso das redes de emalhe (malhadeira) foi predominante no monitoramento com 74% das capturas, seguido pelas linhas de mão (16%), Espinhel (5%), Tarrafa (3%) e Outras (2%) (Figura 2), confirmando a predominância do emalhe nas pescarias artesanais do rio Araguaia (Gentil et al., 2020).

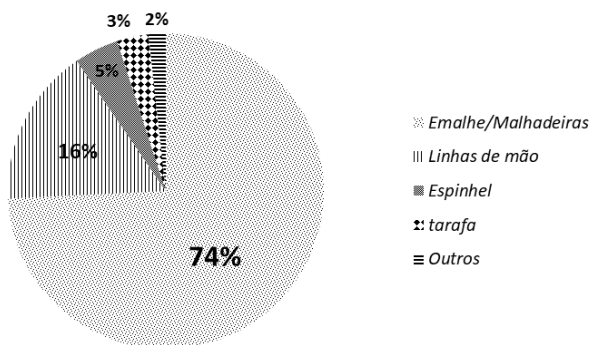


Figura 2. Proporção (%) das estratégias de pesca utilizadas no monitoramento pesqueiro em 2019, 2020 e 2021, rio Araguaia-TO.

Diferente das expedições científicas, o monitoramento de desembarques foi realizado por agentes locais (monitores), capacitados e orientados por técnicos a registrar cada expedição de desembarque nos portos de origem. Cada expedição de pesca foi registrada numa ficha de desembarque. Nas fichas, além de outras informações, foram registrados os nomes dos peixes, por nome comum/popular, o somatório do peso total (em kg) e o preço de primeira comercialização (em R\$/kg). Os pontos ou locais de pesca no rio Araguaia foram os ambientes (pesqueiros) tradicionalmente frequentados pelos pescadores, numa área que corresponde a uma distancia percorrida de aproximadamente 35 km a jusante e 55 km a montante do porto de origem (Ummus et al., 2018). As distancias foram estimadas empiricamente em reuniões comunitárias com os pescadores artesanais e refletem (i) a autonomia de pesca da frota, (ii) o uso e ocupação dos territórios pesqueiros, (iii) a disponibilidade dos recursos pesqueiros em cada ambiente e; (iv) o respeito aos locais utilizados por quem chega primeiro

ao local de pesca. Estes mapeamentos participativos são instrumentos importantes na cartografia social, pois traduz as complexidades das ações sociais que o homem interage no espaço (Silva e Verbicaro, 2016). Importante ressaltar que todos os registros entre 2017 e 2021 foram realizados durante o período permitido legalmente para a pesca (entre março e outubro) conforme Instrução Normativa Federal IN 12 (Brasil, 2011) e Portarias Estaduais 124/20 (Tocantins, 2020) e 171/21 (Tocantins, 2021). Para as análises das espécies de peixes, foram registradas de forma qualitativa e quantitativa pelo seu nome comum/popular e por ano. Após tabulação e curadorias das planilhas, os diferentes nomes comuns foram filtrados e agrupados por ano, por ordem, preço de comercialização e por nome científico. Para a identificação de ordem, espécies e nomes comuns, foram utilizadas as bases de dados FishBase (Froese e Pauly, 2022), a Portaria 71/2018 (Tocantins, 2018) e Ferreira *et al.*, (2011) e Lucinda *et al.* (2007). Alguns nomes comuns de peixes com sinonímias muito próximas foram agrupados com mesmo nome, para sanar erros de registro nas fichas, na tabulação, na ortografia ou no uso de acentos que, na planilha digital, são identificados como peixes diferentes, por exemplo, “*curimatá e curimata*”, “*fidalgo e fidago*”, “*boca-larga e boca larga*”, etc. No entanto, outros nomes comuns, apesar de próximos, foram preservados como distintos por considerar o português de linguagem coloquial ou por refletirem a tradição oral (Freire e Pauly, 2005), como por exemplo, “*Voador e Avoador*”, “*Corvina e Curvina*”, “*Mandi-ferro e Mandi cabeça-de-ferro*” etc.

## RESULTADOS

Foram registrados 21.043 peixes entre 2017 e 2021, com 135 nomes comuns diferentes, notando-se uma relação positiva entre o total de amostras e o total de nomes comuns (Figura 3). O ano de 2020 foi o mais expressivo em número de amostras e nomes comuns de peixes, com 11.063 e 84 nomes comuns, respectivamente.

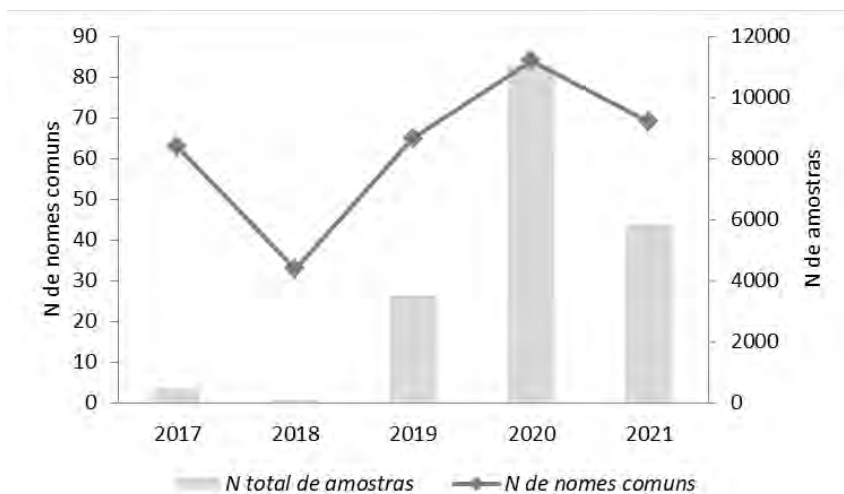


Figura 3. Número de amostras totais e de nomes comuns de peixes por ano no rio Araguaia, Tocantins.

#### Os nomes comuns e a produção pesqueira.

Os grupos de peixes com mais citações de nomes comuns foram os Piaus (*Characiformes*) e Mandis (*Characiformes*) com 12 citações cada, os Pacus (*Characiformes*) com 10, Piranhas (*Characiformes*) com 9, Curvinas (*Perciformes*) e Carás (*Perciformes*) com 7, Surubins (*Siluriformes*), Avoador (*Characiformes*) e Caris (*Siluriformes*) com 5 nomes comuns cada e Fidalgos (*Siluriformes*) com 4 nomes comuns (Figura 4).

O Piau, Pacu e Voador possuem uma grande importância econômica e são capturados em volumes consideráveis, com 26,7; 42,6 e 30 toneladas, respectivamente (Figura 4). Por outro lado, os Mandis e Surubins, mesmo com produções menores (Figura 4) também possuem alto valor comercial (Figura 5).

Estes resultados corroboram com Freire e Pauly (2005), de que o maior número de nomes comuns está associado com as espécies comercialmente importantes. Os doze nomes comuns dados pelos pescadores aos Piaus são de nove espécies diferentes, sendo 7 nomes comuns reconhecidos pela Portaria 71/2018 (Tocantins, 2018) e apenas dois nomes comuns reconhecidos pela IN 12/2011 (Brasil, 2011).

Nota-se então, um desalinhamento entre as esferas Estadual e Federal no tocante à quantidade de espécies e de nomes comuns. Quatro peixes foram citados com 3 nomes comuns diferentes dentre eles o Tucunaré *Cichla sp* (Perciformes) com grande importância não apenas comercial e alimentar mas também na pesca esportiva (Alves e Barthem, 2008).

Seis peixes foram citados com 2 nomes comuns, a exemplo do Filhote ou Piraíba *B. filamentosum* (Siluriformes), espécie migradora e grande predadora aquática. Na Amazônia, este peixe se apresenta com duas espécies (*B. filamentosum* e *B. capapretum*). No entanto, a cadeia produtiva e os setores governamentais não estão devidamente adaptados para distinguir as duas espécies devido à decapitação dos exemplares no desembarque, considerando erroneamente, uma única espécie nos registros oficiais como *B. filamentosum* (Huerdo et al., 2011). Isto pode contribuir para um retardo na recuperação dos estoques desta espécie que já se encontra ameaçada devido a uma série de fatores antrópicos no rio Tocantins (Swanson et al., 2021).

Vinte e nove peixes foram citados com apenas um nome comum e alguns deles possuem grande importância econômica e social como o Jaraqui *S. brama* (Characiformes), Jaú *Z. zungaro* (Siluriformes) e Mapará *H. marginatus* (Siluriformes) (Valério-Junior et al., 2019; Mateus et al., 2007; Cutrim e Batista, 2005). Neste caso, os nomes comuns já estão naturalmente padronizados, facilitando a compilação e nas estatísticas de desembarques, mesmo que ainda inexistente. Por fim, dos vinte e nove peixes, apenas onze nomes comuns (8% do total) não pode ser identificado pelo nome científico.

Considerando o preço médio de comercialização por kg de peixe, os mais capturados possuem bom valor comercial, sendo os mais valorizados os Surubins, Pacus, Fidalgos e Curvinas (Figura 5). Ou seja, os vários nomes comuns é fruto também do valor comercial aliado ao volume da captura de cada espécie. Tal comportamento ressalta a necessidade de haver compilações estatísticas mais padronizadas para assegurar não apenas um banco de dados mais unificado como para planejar melhores políticas de ordenamento pesqueiro voltado a um determinado estoque populacional. O Pacu, por exemplo, citado com 10 nomes comuns diferentes, é listado pela Portaria 71/2018 do Naturatins (Tocantins, 2018)



com 4 nomes comuns diferentes e com tamanhos mínimos de captura de 18 cm para o *M. duriventris*, *M. setiger* e *M. torquatus* e de 12 cm para o *M. hypsauchen*.

Porém, não há identificação ou padronização para saber se, os demais nomes comuns citados pelos pescadores e não listados oficialmente, possuem características semelhantes para serem enquadradas nos respectivos tamanhos mínimos da Portaria. É claro, portanto, que o bom entendimento da relação entre a nomenclatura popular e científica contribui para minimizar os impactos no setor pesqueiro. O Pacu é uma espécie de alto valor comercial, de grande volume capturado e expressiva importância cultural no rio Araguaia. No entanto, a preocupação com os estoques desta espécie passa não apenas por estudo de dinâmica populacional, mas, sobretudo, por ajustes na unificação de nomes comuns sem prejudicar a identidade cultural das comunidades que a exploram. Ou seja, apesar de necessária, a padronização das estatísticas oficiais não visa a substituição de nomes comuns e sim a padronização em caso de uso em escala nacional ou de Bacia hidrográfica (Freire e Carvalho-Filho, 2009).

Da mesma forma, os surubins (*Siluriformes*), citados com 5 nomes comuns pelos pescadores e com 3 nomes pela Portaria 71/2018 (Tocantins, 2018), possuem grande importância ecológica por ser um peixe carnívoro, migrador e sujeito a um grande esforço de pesca e pressões ambientais. Portanto, seus estoques devem ter atenção especial, pois o gênero *Pseudoplatystoma* possui também grande valor comercial e na subsistência das comunidades pesqueiras (Buitrago-Suárez et al., 2007).

O nome comum Surubim possui amplo uso no território nacional por ocorrer e diversas bacias hidrográficas e o mesmo nome pode representar diferentes espécies deste grupo (Prysthon et al., 2015). Por este motivo, é importante sua padronização nas estatísticas, pois algumas espécies diferentes podem estar agrupadas com o mesmo nome. Outra questão atrelada aos surubins é a sua condição de vulnerabilidade. Mesmo ainda sem avaliação da *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* (CITES), as duas espécies ocorrentes na Bacia Tocantins Araguaia, *P. punctifer* e *P. fasciatum*, além do *S. planiceps* estão também sujeitas às pressões ambientais e antrópicas que afetam suas funções ecológicas (Villamil-Rodriguez et al., 2018).

O peixe Avoador (Characiformes) teve cinco nomes comuns diferentes, e muito similares, o que pode refletir o uso desses nomes comuns na tradição oral das comunidades (Freire e Pauly, 2005). O Avoador é o 3º recurso de maior importância produtiva na região de estudo e sua captura é mais relevante nos municípios de Esperantina e Araguatins, próximos à foz do rio Araguaia. Outro exemplo são os Caris (*Siluriformes*), cujas cinco citações comuns dadas pelos pescadores não correspondem a nenhuma das citações de nomes comuns contidas na Portaria 71/2018 (Tocantins, 2018) que cita estes exemplares como Cascudos (*Hypostomus spp*, *Loricaria spp*, *Panaque nigrolineatus*, *Leporacantichys galaxias*, *Pterigoplichthys joselimaianus*), o que demonstra desalinhamento entre o ordenamento pesqueiro oficial e os pescadores.

Esse desalinhamento indica pouco diálogo com o setor produtivo e contribui para a desarticulação na fiscalização ambiental e à desobediência civil, com consequências danosas para a cadeia produtiva da pesca artesanal. Vale lembrar que os pescadores artesanais é um segmento da sociedade altamente vulnerável às externalidades e a atual conjuntura de desconstrução dos pilares de proteção social põem em xeque as políticas públicas de ordenamento pesqueiro (Torres e Giannella, 2020; Azevedo e Pierri, 2014). Apesar de haver alguns avanços, as políticas públicas voltadas para a pesca artesanal ainda são fracas, o que resulta numa crescente marginalização do setor e perda de identidade cultural (Teixeira et al.,2013).

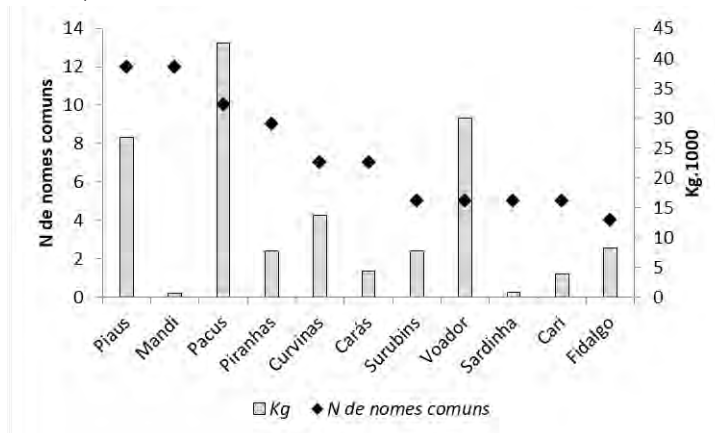


Figura 4. Número de nomes comuns por grupos de espécies e produção total (em kg) entre 2017 e 2021, no rio Araguaia, TO.

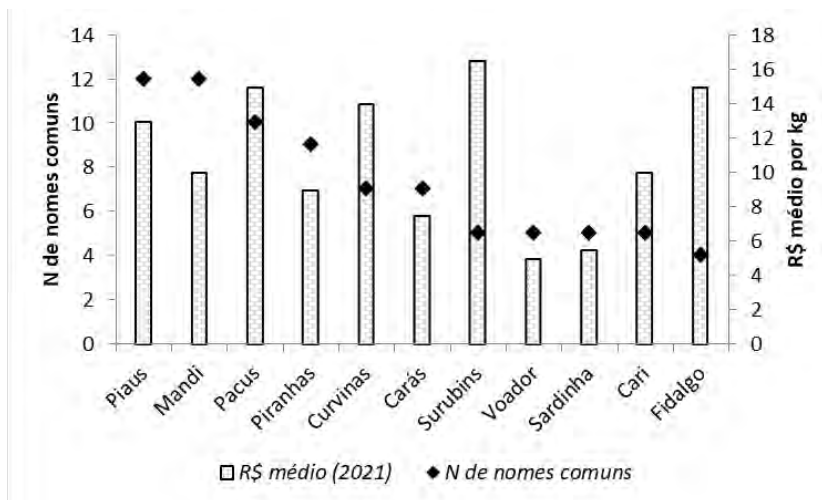


Figura 5. Número de nomes comuns por grupos de espécies e preço médio de comercialização (em R\$) entre 2017 e 2021, no rio Araguaia, TO.

Com relação à taxonomia, há cerca de 180 espécies de peixes na bacia Tocantins-Araguaia (FEOW, 2021). Destas, 66 foram identificadas neste estudo, pertencentes a cinco diferentes ordens. Os *Characiformes* foi a ordem que prevaleceu, com mais da metade das espécies registradas (55%), seguido pelos *Siluriformes* (20%), *Perciformes* (16%) *Clupeiformes* (7%) e *Osteoglossiformes* (2%) (Figura 6). A mesma proporção foi encontrada por Zacarkim et al., (2015) e Lucinda et al. (2007), também na bacia Tocantins- Araguaia. A predominância dos *Characiformes* é esperada e pouco interfere nos nomes comuns, uma vez que esta é a Ordem mais abundante e diversa em ambientes de água doce do mundo, principalmente na América do Sul e Amazônia com aproximadamente 2.000 espécies (Mota et al., 2014; Barletta et al., 2010; Pereira, 2010; Petry et al., 2003).

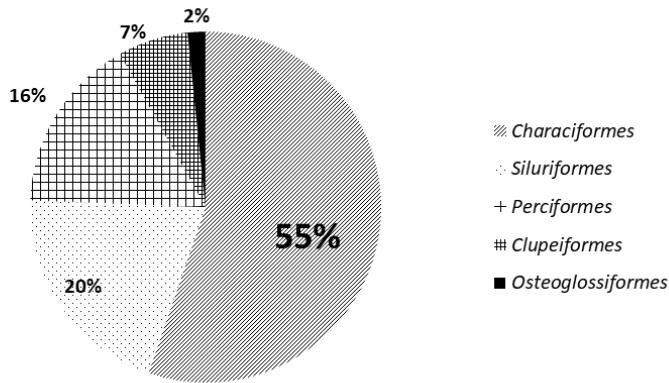


Figura 6. Proporção das principais ordens de peixe capturadas neste estudo, entre 2017 e 2021, no rio Araguaia, Tocantins.

## DISCUSSÃO

### Implicações nas políticas públicas ambientais.

A Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988) em seu artigo 225, indica que o poder público deve defender e preservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado. As Instruções Normativas Interministeriais MPA/MMA n 12 e 13, ambas de 2011 (Brasil, 2011a e Brasil 2011b), estabelecem normas gerais para a pesca nas bacias hidrográficas dos rios Araguaia e Tocantins, respectivamente.

No âmbito estadual, compete ao Instituto Natureza do Tocantins - Naturatins, órgão responsável pelo licenciamento, fiscalização, monitoramento e orientação da atividade pesqueira no Estado do Tocantins, adequar os limites de captura da pesca conforme a Lei estadual 261/1991 (Tocantins, 1991) que, no seu artigo 2º, indica que a implementação da política ambiental tenha o princípio da participação comunitária.

Neste sentido, os limites de captura contemplados na Portaria 71/2018 (Tocantins, 2018) englobam uma lista de 66 espécies de peixes, com 84 nomes comuns diferentes. Esta Portaria é a única que traz a pauta dos nomes comuns no

Estado. Porém, há divergências entre normativas alguns nomes citados não correspondem aos nomes populares citados pelos pescadores neste estudo, assim como, a Instrução Normativa MPA/MMA n 12/2011 cita apenas 19 espécies de peixes, sendo apenas 6 com mais de um nome comum.

Uma ação prioritária e defendida pela comunidade científica é a adoção de um plano de monitoramento de desembarques como política de governo nas diferentes esferas municipais, estaduais, regionais, nacional (Prysthon, 2021a; Prysthon 2021b). A falta de um sistema compreensivo e confiável de estatística pesqueira é um dos maiores desafios da gestão pesqueira no Brasil (Previero, et al., 2013).

Com o monitoramento é possível dimensionar se o esforço empregado nas capturas é compatível com as populações de peixes identificando possíveis ameaças de sobrepesca, assim como identificar e monitorar nomes comuns e científicos visando a conservação dos estoques pesqueiros. Estudo taxonômicos da Amazônia encontraram uma grande relação entre a classificação feita pelos pescadores e os nomes científicos (Begossi et al., 2008), reforçando a importância do conhecimento tradicional como fonte de dados confiável, rápida e de baixo custo mas é contestada pela falta de validação científica (Teixeira et al., 2013).

Sem monitoramento, o Brasil continuará sem saber os reais impactos da pesca sobre os estoques e conseqüente perda na biodiversidade (Freire e Pauly, 2005), principalmente em se tratando da pesca continental que é historicamente ofuscada em detrimento dos interesses das questões oceânicas (Funge-Smith e Bennett, 2019). Paralelamente, é importante destacar a necessidade de uma sociedade cientificamente alfabetizada e engajada para fomentar decisões políticas e investimento em programas de pesquisa em biodiversidade e para apoiar a formulação de políticas ambientais mais eficazes (Dobrovolski, et al., 2018).

Mesmo havendo tentativas de melhores políticas de ordenamento pesqueiro, ainda há pouca reflexão e planejamento para minimizar as ameaças crescentes e garantir a sustentabilidade da bacia para as gerações futuras (Pelicice et al 2021; Castello e Macedo, 2016). Ameaças como a construção de hidrelétricas, mineração, mudanças de paisagem e alterações climáticas são questões que

devem ser consideradas no ordenamento pesqueiro para que estes ecossistemas continuem provendo os serviços ambientais e o sustento das populações ribeirinhas.

## CONCLUSÕES

Devido à diversidade de nomes comuns identificados, o desalinhamento entre o poder público na padronização destes nomes e suas possíveis consequências deletérias para os estoques, ecossistemas e comunidades tradicionais ribeirinhas, algumas ações são reomendadas:

Padronizar de nomes populares entre comunidades pesqueiras e governo. A padronização deve ser realizada por intermédio de oficinas comunitárias com metodologias participativas, mapeando nomes comuns e acordando consensualmente, os nomes mais adequados para as compilações governamentais. Recomenda-se, ainda, que as equipes envolvidas nas etapas de consulta, tenham perfis multidisciplinares (ciências biológicas, agrárias, exatas, sociais, etc.). Tal medida promove um melhor entendimento entre a nomenclatura popular e o conhecimento científico e a construção de atos normativos. Ainda, é importante padronizar regionalmente com outros estados partícipes da bacia Tocantins- Araguaia, visando um melhor alinhamento na gestão dos recursos pesqueiros na Bacia Tocantins-Araguaia como um todo;

Revisar as Instruções Normativas Federais (IN 12 e 13/2011) e Estaduais, incluindo as possíveis sobreposições de nomes comuns e estimular a publicação de atos normativos em concordância e alinhamento e;

Valorizar o conhecimento tradicional através da abordagem participativa. A participação dos pescadores neste estudo (i) elevou a corresponsabilidade dos pescadores na busca de estratégias de desenvolvimento, diminuindo as expectativas com relação aos resultados; (ii) incorporou os saberes tradicionais para melhorar as condições de tomadas de decisão e; (iii) aperfeiçoou, em algum grau, as formas de articulação e representação de interesses, principalmente de grupos de pescadores ou atores da cadeia produtiva que são mais excluídos.

Estas ações, além de urgentes, são fundamentais na proteção ambiental e dos direitos das comunidades tradicionais no sentido de fomentar a superação de crises históricas e retomar o caminho para o bem estar humano e conservação da biodiversidade na Bacia Tocantins-Araguaia.

Por fim, a necessidade urgente de um plano de monitoramento de desembarques pesqueiros no estado do Tocantins e demais estados partícipes da bacia, com metodologias claras e abordagem participativa junto às comunidades pesqueiras. A iniciativa poderá ser inédita, pois não há histórico de registros de monitoramento de desembarques de domínio público.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi financiado pelo BNDES, fruto da parceria a Embrapa, com recursos do Fundo Amazônia (Contrato Nº 15.2.0897.2) e registrado no SIGEN (A79139B). Agradecemos aos pescadores artesanais do Tocantins que participaram com a doação e confiança em mais de 5 mil desembarques.

## REFERENCIAS

- Abdallah, P.R.; Sumaila, U.R. 2007. An historical account of Brazilian public policy on fisheries subsidies, *Marine Policy*, Volume 31, Issue 4, Pages 444-450, 2007.
- Alves, D.C.; Minte-Vera, C.V. Scientometric analysis of freshwater fisheries in Brazil: repeating past errors? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 23, 113–126. 2012.
- Alves, M.C.B.; Barthem, R.B. The freshwater fishery based on peacock bass *Cichla* spp. (Perciformes, Cichlidae) on the reservoir in the tucuruí hydroelectric dam, in the Tocantins river, Pará State. *Boletim do Instituto de Pesca*, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 553 - 561, nov. 2018.
- Azevedo, N. T.; Pierri, N. A política pesqueira no Brasil (2003-2011): a escolha pelo crescimento produtivo e o lugar da pesca artesanal. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 32, [s.i.], p.61-80. 2014.

- Barletta, M.; Jaureguizar, A.J.; Baigun, C.; Fontoura, N.F.; et al. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*. V. 76, p.2118–2176. 2010.
- Bartley, D.M.; Graaf, G.; Valbo-Jørgensen, J. (2015). 4.3. Commercial inland capture fisheries. In: J.F. Craig (Ed.). *Freshwater Fisheries Ecology*. 2015.
- Begossi, A.; Salivonchyk, S.V.; Araujo, L. G.; Andreoli, T.B.; Clauzet, M.; Martinelli, C.M.; Ferreira, A. G. L.; Oliveira, L. E. C.; Silvano, R. A. M. Ethnobiology of snappers (Lutjanidae): target species and suggestions for management. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 7: 11. 2011.
- Begossi, A. Small-scale fisheries in Latin America: management models and challenges. *MAST*, v.9, p. 5-12. 2010.
- Begossi, A., Clauzet, M.; Figueiredo, J.L.; Garuana, L.; Lima, R.V.; Maccord, P.F.; Ramires, M.; Silva, A.L.; Silvano, R. A. M. Are biological species and higher-ranking categories real? Fish folk taxonomy on Brazil's Atlantic forest coast and in the Amazon. *Current Anthropology*, v.49,p. 291-306. 2008.
- Braga, H. O.; Pardal, M.A.; Cruz, R.C.M.; Alvarenga, T.C.; Azeiteiro, U.M. Fishers knowledge in Southeast Brazil: The case study of the Brazilian sardine. *Ocean & Coastal Management*, v. 165, p. 141-153, 2018.
- Brasil. Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA. nº- 12, de 25 de outubro de 2011a. Estabelece normas gerais à pesca e no período de defeso para a bacia hidrográfica do rio Araguaia. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, DF. Nº 206, 26 de out. 2011. Seção 1. p 124-126.
- Brasil. Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA nº 13, de 25 de outubro de 2011b. Estabelece normas gerais à pesca para bacia hidrográfica do rio Tocantins e período de defeso para as bacias hidrográficas dos rios Tocantins e Gurupi. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, DF. Nº 206, 26 de out 2011. Seção 1. p 127-129.



Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

Buitrago-Suárez, U.A.; Burr, B.M.; Stierhof, T. Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriformes: Pimelodidae) with recognition of eight species. *Zootaxa*, Vol. 1512 No. 1, p. 1-38, 2007.

Castello, L.; Macedo, M.N. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, v.22, p. 990-1007. 2016.

Swanson, C.A.; Kaplan, D.; Toh, K.B.; Marques, E.E.; Bohlman, S.A. Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. *Science of The Total Environment*, Volume 800, 2021.

Cites, 2021. Appendices I, II and III valid from 22 June 2021. UNEP. Disponível em: <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>. Acesso em: 14 mar 2022.

Corrêa, M.A.A.; Kahn, J.R.; Freitas, C.E.C. Perverse incentives in fishery management: The case of the defeso in the Brazilian Amazon, *Ecological Economics*, v 106, p 186-194, 2014.

Cutrim, L.; Batista V.S. Determinação de idade e crescimento do mapará (*Hypophthalmus marginatus*) na Amazônia Central. *Zoologia, Acta Amazonica*. V 35(1), p. 85 – 92. 2005.

Dobrovolski, R.; Loyola, R.; Rattis, L.; Gouveia, S.F.; Cardoso, D.; Santos-Silva, R.; Gonçalves-Souza, D.; Bini, L.M.; Diniz-Filho, J.A.F. Science and democracy must orientate Brazil's path to sustainability, *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 16, Issue 3, p. 121-124, 2018.

FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>. Acesso em: 15 mar 2022.

Feow. Freshwater Ecoregions of the World. Disponível em: <https://www.feow.org/ecoregions/details/324>. Acesso em 15 mar 2022.

- Ferreira, E.; Jansen, Z.; Santos, G.; Amadio, S. A ictiofauna do Parque Estadual do Cantão, Estado do Tocantins, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 11, n. 2 pp. 277-284. 2011.
- Freire, K.M.F.; Carvalho Filho, A. Richness of common names of Brazilian reef fishes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. V 4(2), p. 96-145, 2009.
- Freire, K. M. F. Analysis of common names of Brazilian freshwater fishes. *Fisheries Centre Research Reports*, v. 14(4), p. 7-11. 2006.
- Freire, K. M. F.; Pauly, D. Richness of common names of Brazilian marine fishes and its effect on catch statistics. *Journal of Ethnobiology* 25(2); 279-296. 2005.
- Freire, K. M. F.; Pauly, D. What's in there? Common names of Brazilian marine fishes. *Fisheries Centre Research Reports*, v. 11(1), p. 439-444, 2003.
- Froese, R.; D. Pauly. Editors. 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication. Disponível em [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (02/2022). Acesso em: 13 mar. 2022.
- Funge-Smith, S.; Bennett, A. A fresh look at inland fisheries and their role in food security and livelihoods. *Fish and Fisheries*, v.20, p.1176 – 1195, 2019.
- Gentil, E. ; Prysthon, A. ; Dias, C.R.G. ; B ; Pedroza-Filho, M.X. Artificial attractors in small scale fisheries gillnets on Araguaia river, Brazil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, 2020.
- Huergo, G. M; Figueiras-Souza, R.J.; Batista, J.S.; Formiga-Aquino, K.; Alves-Gomes, J.A. Molecular genetics as a tool for fisheries management in the Brazilian Amazon: Piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* and *Brachyplatystoma capapretum*) (Siluriformes: Pimelodidae) in white-water rivers. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v.6(4), p.280-289, 2011.
- Huntington, H.P. 2011. The local perspective: indigenous knowledge is maturing as a science, says Henry P. Huntington. But more work is needed to give the field the respect it deserves. *Nature* 182. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/478182a>. Acesso em: 09 mar 2022.

- Latrubesse, E.M.; Arima, E.; Ferreira, M.E.; Nogueira, S.H.; Wittmann, F.; Dias, M.S.; Dagosta, F.C.P.; Bayer, M. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. *Conservation Science and Practice*, v1, 77, 2019.
- Lucinda, P.H.F.; Freitas, I.S.; Soares, A.B.; Marques, E.E.; Agostinho, C.S.; Oliveira, R.J. Fish, Lajeado Reservoir, rio Tocantins drainage, State of Tocantins, Brazil. *Check List- Biotaxa*. Vol 3 (2). 2007.
- Mateus, L.A.F.; Penha, J.M.F. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (Siluriformes, Pimelodidae). *Revista Brasileira de zoologia*, v. 24.1, p.87-98, 2007.
- Mota, T.F.M.; Prioli, S.M.A.P.; Rioli, A.J. Estudos filogenéticos da ordem characiformes: tendências e carências. *Biológicas-Saúde*, Ponta Grossa, v.20, n.1, p.21-36, 2014.
- Pellicice, F.M.; Agostinho, A.A.; Akama, A.; Andrade-Filho, J.D.; Azevedo-Santos, V.M.; Barbosa, M.V.M.; *et al.* Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. *Environ Manage*, v. 68(4);, p.445-452, 2021.
- Pereira, Poliana Ribeiro. Estrutura trófica de assembleia de peixes em praias do trecho médio dos rios Araguaia e Tocantins, estado do Tocantins, Brasil. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ecofisiologia, Ictiologia, Mamíferos aquáticos, Recursos pesqueiros, Aquacultura, Sistemática e Biologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.
- Petry, P.B.; Bayley, P.B.; Markle, D.F. Relationships between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon river flood plain. *Journal of Fish Biololy*, v.63, p.547–579, 2003.
- Previero, M.; Minte-Vera, C.V.; Moura, R.L. Fisheries monitoring in Babel: fish ethnotaxonomy in a hotspot of common names. *Neotropical Ichthyology*, v. 11, n. 2, p. 467-476, 2013.

- Prysthon, Adriano; UMMUS, Marta Eichemberger. A pesca com arco e flecha e o conhecimento tradicional indígena na ilha do bananal, rio Araguaia, Tocantins, Brasil. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO DE PESCA, Anais...São Paulo, São Paulo, 2017,p.34-36.
- Prysthon, A. 2021a. Revisitando a pesca artesanal na Embrapa: um "oceano azul" de oportunidades ou um "oceano vermelho" de ameaças? *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, p.1-13, 2021.
- Prysthon, A. 2021b. "Gestão sem informação é ficção": como o monitoramento participativo da pesca artesanal pode subsidiar políticas públicas no Tocantins, Brasil. In: GUIMARÃES, L. L.; FREITAS, P. G. de (org.). *Ciências agrárias multidisciplinares: avanços e aplicações múltiplas*. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2021. v. 1. p. 11-20. il.
- Prysthon, A.; Ummus, M. E.; Tardivo, T. F.; Pedroza Filho, M. X.; Chicrala, P. C. M. S.; Kato, H. C. De A.; Dias, C. R. G.; Paz, L. R. de S. A pesca artesanal no rio Araguaia, Tocantins, Brasil: aspectos tecnológicos e socioeconômicos. Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2022. 94 p. il.
- Prysthon. A.P.; Lima, A.F.; Lundstedt, L.M. A pesca e a aquicultura de surubins no Brasil: Panorama e considerações para a sustentabilidade. Palmas, TO : Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015. 42 p. (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1039656/a-pesca-e-a-aquicultura-de-surubins-no-brasil-panorama-e-consideracoes-para-a-sustentabilidade>. Acesso em 13 fev. 2022.
- Ramos, K. F.; Pelegrini, L. S.; Sardinha, J. V.; Tartari, R.; Anjos, M. R. Database of the historical series of fisheries production in the middle Madeira River region, southwest of the Amazon, from 2001 to 2013. *Latin American Data in Science*, v. 1, n. 2, p. 72–80, 2021.
- Ribeiro, M.C.L.B.; Petrere Jr, M.; Juras, A.A. Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia—Tocantins River basin, Brazil. *Regulated Rivers: Research and Management*, v. 11(3–4), p.325–350, 1995.

- Silva, C. N.; Verbicaro, C. O mapeamento participativo como metodologia de análise do território. *Scientia Plena*, v.12, n. 6, p.1-12, 2016.
- Silva, A. P.; Farias, E. G. G. Caracterização participativa da frota pesqueira do Rio Araguaia - Tocantins, Brasil. *Magistra*, v. 29(1), p. 80-90, 2017.
- Teixeira, J. B.; Martins, A.S.; Pinheiro, H.T.; Secchin, N.A.; R. L. Moura, R.L.; Bastos, A.C. Traditional Ecological Knowledge and the mapping of benthic marine habitats. *Journal of Environmental Management*, v.115, p. 241-250, 2013.
- Tejerina-Garro, F. L.; Mérona, B. Gill net sampling standardisation in large rivers of French Guiana (South America). *Bull. Fr. Pêche Piscic*, v. 357-360, p. 227-240, 2001.
- Tejerina-Garro, F.L.; Mérona, B. Flow seasonality and fish assemblage in a tropical river, French Guiana, South America. *Neotropical Ichthyology*, v. 8, n. 1, p. 145-154, 2010.
- Tocantins. Instrução Normativa NATURATINS Nº 3 DE 06/11/2015. Dispõe sobre o Acordo de Pesca no Estado do Tocantins. Palmas: Diário Oficial, 2015.
- Tocantins. LEI Nº 261, DE 20 DE FEVEREIRO DE 1991. Dispõe sobre a política ambiental do Estado do Tocantins e dá outras providências. Palmas: Diário Oficial, 1991.
- Tocantins. Portaria/Naturatins Nº 124, DE 22 DE OUTUBRO DE 2020. Fixa o período de defeso da Piracema entre 1º de novembro de 2020 e 28 de fevereiro de 2021 e proíbe, neste período, o exercício da pesca em todas as suas modalidades, nos rios, lagos ou qualquer outro curso hídrico existente no Estado do Tocantins, nos termos que especifica. Palmas: Diário Oficial. 2021.
- Tocantins. Portaria/Naturatins Nº 171, DE 01 DE OUTUBRO DE 2021. Fixa o período de defeso da Piracema entre 1º de novembro de 2021 e 28 de fevereiro de 2022 e proíbe, neste período, o exercício da pesca em todas as suas modalidades, nos rios, lagos ou qualquer outro curso hídrico existente no Estado do Tocantins, nos termos que especifica. Palmas: Diário Oficial. 2022.

- Tocantins. Portaria Naturatins nº 71, de 26 de fevereiro de 2018. Dispõe sobre a proibição de captura, transporte e comercialização de espécies de peixes que especifica e estabelece tamanhos mínimos permitidos. Palmas: Diário Oficial. 2018.
- Torres, R.; Giannella, L. Políticas Públicas E Conflitos Socioambientais: problematizando o Seguro-Defeso da pesca artesanal. Revista de Políticas Públicas. v.24, p. 1-20, 2020.
- Ummus, M. E.; Silva, A. P. Da; Paz, L. R. de. Mapeamento participativo das rotas de pesca na margem tocantinense do rio Araguaia. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 19., 2018, João Pessoa. Pensar e fazer a geografia brasileira no século XXI: escalas, conflitos socioespaciais e crise estrutural na nova geopolítica mundial: anais eletrônicos. São Paulo: Anais... AGB, 2018.
- Vasconcellos, M.; Diegues A. C.; Sales, R. R.. Limites e possibilidades na gestão da pesca artesanal costeira. In: A. L. Costa. Nas redes da pesca artesanal. Brasília, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, PNUD, 2007. p. 15-63.
- Valério-Junior, J. F.; Dias, C. R. G.; Silva, A. P. Relação peso -comprimento, fator de condição do jaraqui *Semaprochilodus brama* (Valenciennes, 1850) e sua importância para a pesca no rio Araguaia, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 21, 2019, Manaus. Anais... Engenharia de pesca: desafios e conflitos da gestão multidisciplinar sobre a aquicultura e a pesca no Brasil, 2019, p.228-237.
- Villamil-Rodriguez, J.F.; Cortes-Avila, L.; Rodriguez-Pulido, J.A. Generalidades sobre la migración de bagres amazónicos de la familia Pimelodidae y su relación con los ciclos hidrológicos. Orinoquia., vol.22, n.2 pp.224-235, 2018.
- Wilson D. C.; Raakjaer, J.E.; Degnbol, P. Local ecological knowledge and practical fisheries management in the tropics: A policy brief. Marine Policy, v. 30, p. 794-801, 2006.

Zacarkim, C.E.; Piana, P.A.; Baumgartner, G. The panorama of artisanal fisheries of the Araguaia River, Brazil. Fisheries Science, v. 81, p. 409–416, 2015.



# Tallas comerciales por zona de pesca de huachinango *Lutjanus peru* en la región de Bahía de La Paz, Baja California Sur, México

Commercial size variations of red snapper *Lutjanus peru* in the Bay of La Paz region, Baja California Sur, Mexico

Mauricio Ramírez-Rodríguez\*, Víctor M. Silva-Méndez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marina-  
Instituto Politécnico Nacional, México.

Correspondencia Mauricio Ramírez-Rodríguez   mramirr@ipn.mx

Palabras clave |  
Flota pesquera,  
talla mínima,  
estructura de tallas

**RESUMEN** | La pesca de huachinango en el Pacífico mexicano es relevante pero su manejo no considera diferencias regionales que afectan procesos de crecimiento y reproducción, asociados a tallas y edad. En este trabajo se analiza la distribución de frecuencia de tallas con base en muestreos de captura desembarcada en la región de Bahía de La Paz (2009-2019), considerando que la flota se fracciona de acuerdo con la cercanía de áreas de pesca a los lugares de desembarco y comunidades de los pescadores. Para la región se definieron 4 zonas de pesca y tres grupos de tallas: chica (11 a 31 cm LT), mediana (32 a 41 cm LT) y grande (41 a 101 cm LT). Su contribución al total fue de 25, 48 y 27% respectivamente. Los promedios por zona fueron de 32, 36, 41 y 37 cm LT. En la zona sur los individuos chicos e inmaduros representaron el 59% y en la central norte 17%; en la central sur y en la norte 33 y 37%. Las diferencias pueden estar relacionadas con la distribución espacial y temporal de recurso, los sistemas de pesca y los precios del producto. Los resultados revelan posibles efectos del establecimiento de una talla mínima incluyendo el impacto sobre la rentabilidad de la pesca en el sur. Sin embargo, hay que valorar su impacto en los procesos de reclutamiento y reproducción.



Keywords |  
Fishing fleet,  
minimum size,  
size structure

**ABSTRACT** | Red snapper fishing in the Mexican Pacific is relevant, but its management does not consider regional differences that affect growth and reproduction processes, associated with size and age. This study analyzes the commercial size frequency distribution based on samples of landed catch in the Bahía de La Paz region (2009-2019), considering that the fleet is divided according to the proximity of fishing areas to landing sites and fishing communities. Four fishing zones and three size groups were defined for the region: small (11 to 31 cm TL), medium (32 to 41 cm TL), and large (41 to 101 cm TL). Their contributions to the total were 25%, 48%, and 27%, respectively. The size averages per zone were 32, 36, 41, and 37 cm TL. In the southern zone, small and immature individuals represented 59%, while in the central north, it was 17%. In the central south and in the north, it was 33% and 37%, respectively. These differences may be related to the spatial and temporal distribution of resources, fishing systems, and product prices. The results reveal potential effects of implementing a minimum size limit, including its impact on fishing profitability in the south. However, its impact on recruitment and reproduction processes must be assessed.

## INTRODUCCIÓN

El huachinango (*Lutjanus peru*) se distribuye desde Bahía Magdalena, en la costa centro occidental de la península de Baja California y parte central del Golfo de California, México, hasta Perú, y es un importante componente de pesquerías artesanales locales (Allen, 1985). Como otros pargos, tiene comportamiento territorial, hábitos nocturnos y habita hasta los 150 m de profundidad, en fondo rocosos y arenosos. Su dieta incluye peces, crustáceos y moluscos (Amezcuca-Linares, 2008). En el Pacífico mexicano, presenta desoves de julio a noviembre, asociados a temperaturas cálidas, y de febrero a abril, cuando las temperaturas son templadas (INAPESCA, 2014). Rocha-Olivares (1991; 1998) reporta huachinangos entre 10 y 99 cm LT, con edades entre 1.5 y 31 años de marzo de 1989 a febrero de 1991; de abril a noviembre la mitad de los individuos muestreados tenía menos de 40 cm (4 a 5 años). Estimó la talla máxima promedio en 97 cm LT (31 años) y la edad de primera madurez y de primera captura en 3 años (30 a 35 cm LT). Según Barbosa-Ortega (2016), los adultos con más de 40 cm LT se reproducen en junio y julio. Los juveniles menores a 30 cm de longitud total

(LT), se encuentran a profundidades de 20 a 40 m (Saucedo-Lozano *et al.* 1999). La talla de primera madurez es de 23 cm LT en las costas del estado de Colima y de 33 cm LT en las de Baja California Sur (Díaz-Uribe *et al.* 2004). Los resultados mencionados sugieren variaciones en el desarrollo del huachinango en diferentes regiones geográficas.

Aunque la pesca de huachinango es relevante en varias regiones de México, el conocimiento sobre su dinámica poblacional y de la flota que lo pesca es limitado. La Carta Nacional Pesquera (CNP) informa que su pesca se desarrolla en las costas de los estados de Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca (SAGARPA, 2010; Zárate-Becerra *et al.* 2014) y, como para otras pesquerías de pequeña escala, las medidas de manejo se asocian al otorgamiento de permisos de pesca y limitaciones en montos de captura y esfuerzo de pesca (SAGARPA, 2010; 2018); pero en general no consideran diferencias regionales en la dinámica de las flotas, la distribución de los recursos y los impactos sobre ellos y el ecosistema (Ramírez-Rodríguez & Ojeda-Ruiz, 2012).

Las unidades económicas (cooperativas y empresas privadas) requieren permiso de pesca comercial de escama marina, que incluye al huachinango, 9 especies más de la familia Lutjanidae y otras 40 especies asociadas a su pesca. Según la CNP el huachinango está sobreexplotado, sin especificar niveles, pero establece una captura máxima de 100 t por año en Sonora y de 800 t en Baja California Sur (BCS). Además, recomienda establecer una talla mínima de captura de 28 cm LT para evitar la pesca de organismos juveniles y sugiere una veda de agosto a septiembre (SAGARPA, 2010).

En BCS el huachinango se pesca en la costa del Pacífico y en el Golfo de California; los estudios se refieren principalmente a áreas aledañas a la región de Bahía de La Paz, en el suroeste de BCS, entre 24°00' y 25°34' N, con un área aproximada de 7,280 Km<sup>2</sup> que incluye las islas Cerralvo, Espíritu Santo y San José (Figura 1). Esta región es influenciada por la Corriente Costera de Costa Rica, durante el verano y parte del otoño, y por la Corriente de California durante el invierno y primavera, y presenta zonas de surgencias generadas por los vientos que cambian estacionalmente de dirección (Díaz-Uribe, 2004). El fenómeno de El Niño causa variaciones interanuales importantes en primavera, con ausencia de

la capa de mezcla y la presencia de una termoclina intensa en verano (Obeso-Nieblas *et al.* 2008). En promedio la temperatura superficial del mar entre junio y noviembre es de  $28.4 \pm 1.9$  °C y entre diciembre y mayo de  $22.5 \pm 4.4$  °C (Martínez-López *et al.* 2001; Trujillo-Retana, 2014). Aunque el huachinango se captura todo el año, en la región de Bahía de La Paz las principales capturas se presentan entre mayo y noviembre (NIPARAJA & PRONATURA, 2011; Vázquez-Robles, 2018).

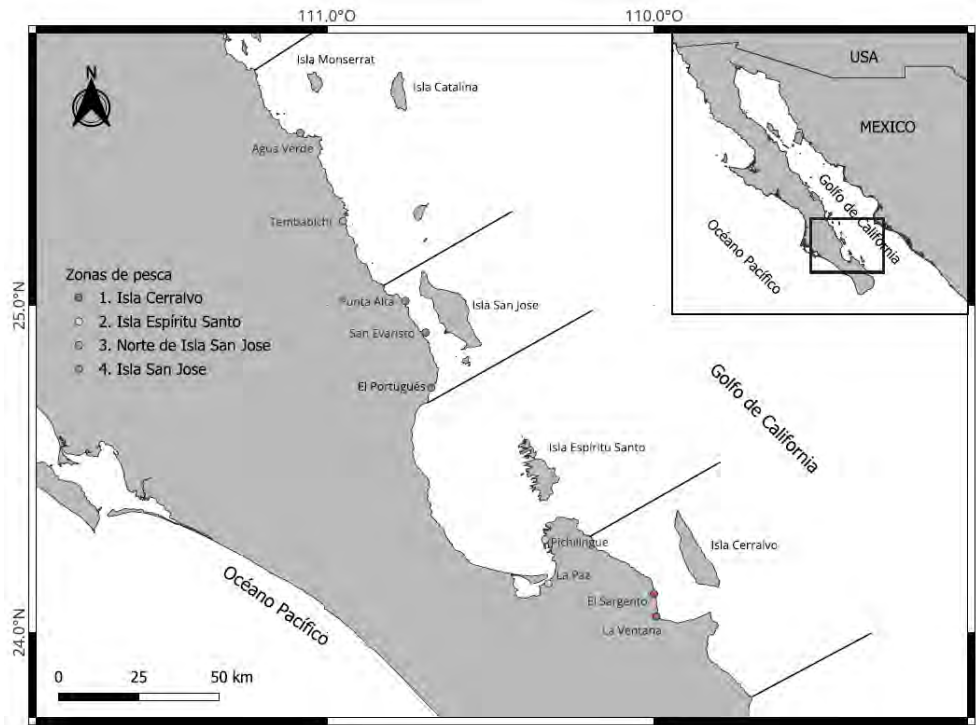


Figura 1. Localización de la región de Bahía de La Paz y zonas de pesca.

En esta región los principales desembarcos provienen de áreas de pesca cercanas a las islas (Silva-Méndez, 2021) y la flota está conformada por embarcaciones menores de fibra de vidrio, denominadas pangas, con motores fuera de borda de 55 a 115 HP, tripuladas hasta por tres pescadores que utilizan líneas con anzuelos y carnada y trabajan durante la noche o al amanecer (Vázquez-Robles, 2018). Aunque formalmente no se definen zonas de pesca, la movilidad de la flota es limitada por el tipo de embarcación y la cercanía de áreas

de pesca a los principales lugares de desembarco y poblados de los pescadores, permitiendo suponer posibles diferencias entre su comportamiento por zona y sobre las características de los huachinangos capturados. En este trabajo se determinan posibles cambios en las distribuciones de tallas de huachinangos pescados en esas zonas de pesca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos analizados fueron recolectados por técnicos pesqueros de las Organizaciones de la Sociedad Civil Niparajá y Pronatura Noroeste, en muestreos de captura desembarcada en diferentes localidades de la región, registrando el tamaño de los individuos (longitud total  $L_t$  cm) de enero del 2009 a diciembre de 2019, pero el número de meses y localidades por año varió.

Los datos se agruparon en las siguientes zonas de pesca, definidas por Silva-Méndez (2021): Cerralvo, Espíritu Santo, San José y Norte de San José. En la zona de Cerralvo las principales localidades de desembarco son El Sargento y La Ventana. En Espíritu Santo, La Paz y Pichilingue. En San José, El Portugués, San Evaristo y Punta Alta y, en el Norte de San José, Tembabichi y Agua Verde (Figura 1). También se consideraron 2 estaciones climáticas: la fría, con temperatura superficial del mar promedio de  $19.6^{\circ}\text{C}$ , de diciembre a abril, y la caliente, con  $27.2^{\circ}\text{C}$ , de mayo a noviembre.

Para cada año, mes, zona de pesca y estación del año se construyeron histogramas de frecuencia de tallas, con intervalos de clases de 1 cm. Los promedios estimados de tallas se compararon aplicando análisis de varianza con el método de Kruskal-Wallis (McDonald, 2014) y de la prueba de Dunn (Ogle *et al.*, 2020). Los análisis se hicieron mediante el software de programación R (R Core Team, 2020).

En principio se consideró el total de datos recolectados y con base a los percentiles en la frecuencia relativa acumulada, se definieron grupos de tallas: chico, hasta el 25%, mediano del 25 al 75% y grande, del 75 al 100%. El primer grupo, hasta el 25%, también incluye los individuos inmaduros, de menos de 33 cm de  $L_T$  (Díaz-Uribe *et al.* 2004).

## RESULTADOS

De enero del 2009 a diciembre del 2019 se obtuvieron 47,837 registros de tallas de huachinangos capturados de forma comercial en la región de estudio. La distribución acumulada de frecuencias relativas de tallas permitió definir tres categorías: talla chica-inmaduros, de 12 a 31 cm LT (25% del total); talla mediana, entre 32 y 41 cm LT, (48%); talla grande, mayores a 41 cm LT, (27%) (Fig. 3). La talla mínima fue de 11 cm LT; la máxima de 101 cm LT y el promedio de  $37.1 \pm 9.6$  cm LT. Para la región se observó la predominancia de individuos medianos y grandes en la captura (Figura 2).

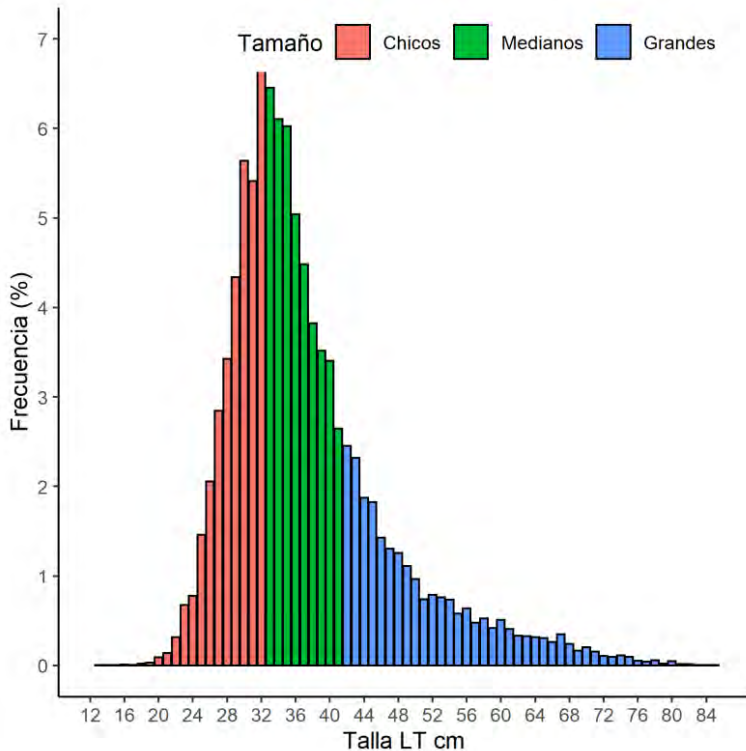


Figura 2. Distribución de frecuencia de tallas de huachinango en la región de Bahía de La Paz

En general, en la zona al norte de San José la talla promedio del huachinango fue de 37 cm LT, en San José de 41 cm LT, en Espíritu Santo de 36 cm LT y en Cerralvo de 32 cm LT. La proporción de individuos inmaduros en la captura de cada zona fue de 37, 17, 33 y 59% respectivamente. El ANOVA con Kruskal-Wallis indica que hay diferencias significativas entre zonas ( $p < 0.05$ ), pero la prueba de Dunn, a posteriori, muestra que no lo son Isla San José e Isla Espíritu Santo.

En San José predominaron los individuos grandes; la talla promedio en la temporada fría fue de 41 cm LT y de 40 cm LT en la cálida; la proporción de inmaduros fue de 14 y 17% respectivamente. En contraste, en Isla Cerralvo en la temporada fría el promedio fue de 33 cm LT y en la cálida de 32 cm LT y la proporción de peces inmaduros fue de 56% y 61%, respectivamente (Figura 3).

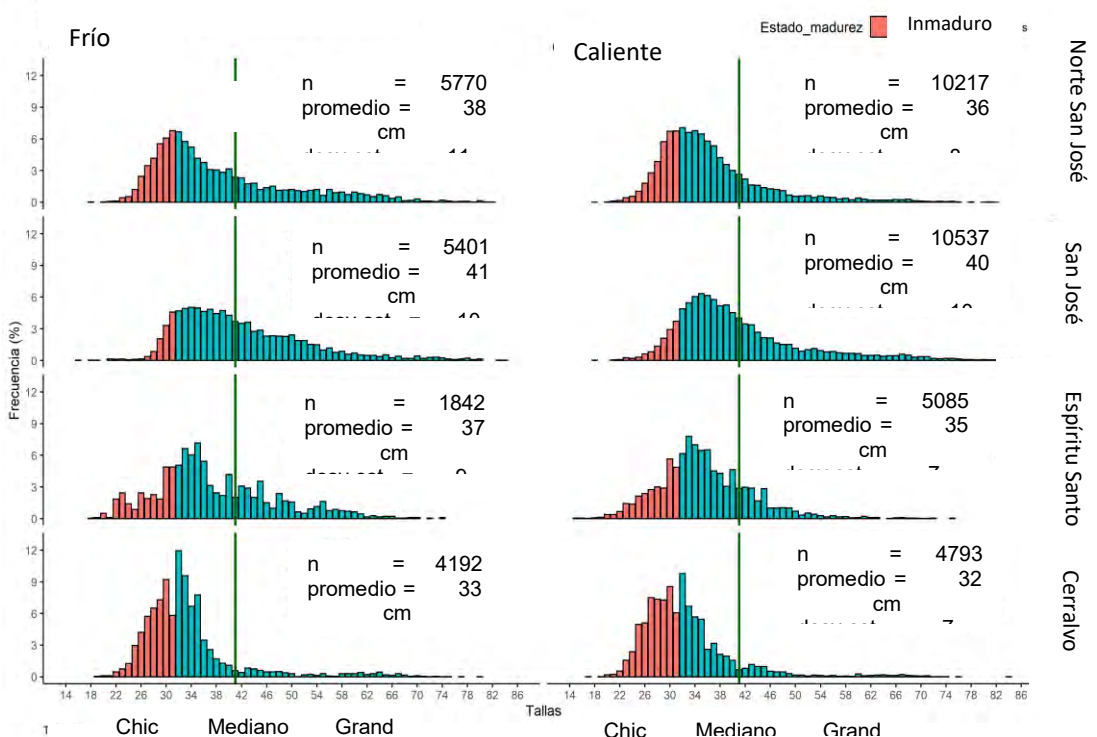


Figura 3. Distribución de frecuencia por temporada y zona de pesca

## DISCUSIÓN

Las variaciones de la talla promedio de especies capturadas comercialmente, suele relacionarse con la presión de pesca, siendo los individuos viejos o de tallas grandes los primeros ejemplares en capturarse y al disminuir su número, predomina la pesca de peces de menor talla y edad. En la pesca de huachinango en la región de Bahía de La Paz se encontró que la composición de tallas en la captura está integrada, principalmente, por huachinangos medianos. Sin embargo, cuando comparamos por zona de pesca, encontramos una tendencia de peces chicos-inmaduros para Cerralvo y grandes para San José. Esto sugiere efectos de la distribución del huachinango, alguna posible migración o preferencias por sitios de pesca. El análisis estadístico corrobora que existe diferencia significativa de las tallas de huachinango entre las zonas de pesca.

Las diferencias pueden estar relacionadas con la distribución espacial y temporal de recurso, los sistemas de pesca y los precios del producto. Sin embargo, los resultados son limitados y no hay información sobre posibles variaciones espaciales y temporales en la selectividad del sistema de pesca en cada zona (tamaño y número de anzuelos, carnada, profundidad, hora de pesca), movilidad de huachinangos de diferentes edades entre zonas de pesca ni sobre la influencia del precio en la búsqueda y captura de individuos chicos, como pudiera suceder en la zona de Cerralvo (Reddy *et al.* 2013).

Según el INAPESCA (2014), los pescadores de Cerralvo buscan pescar a los individuos de tallas chicas, de "orden" o "platilleros", por su mayor precio en el mercado de los restaurantes, pero los precios registrados en avisos de arribo en la zona del norte son mayores. Esto sugiere la necesidad de un estudio de mercado específico, especialmente porque la Carta Nacional Pesquera recomienda una talla mínima de captura de 28 cm LT para evitar la pesca de organismos juveniles (SAGARPA, 2010). Si se aplicará, el impacto sobre la rentabilidad de la pesca en el sur puede ser importante. Sin embargo, la talla mínima busca aportar a mantener los niveles de reproducción y reclutamiento y evitar la sobrepesca del crecimiento (Hilborn & Walters, 1992).

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado parcialmente por el Instituto Politécnico Nacional. Se agradece a las OSC Niparáj y Pronatura Noroeste por facilitar los datos base y al Ing. Armando Hernández por la edición de la Figura 1.

## REFERENCIAS

- Allen, G.R. (1985). FAO Species catalogue, vol. 6 Snappers of the world, an annotated and illustrated catalogue of Lutjanid species known to date. FAO Fish. Synop. (125) Vol.6, 208 p.
- Amezcu-Linares F. (2008). Peces demersales del Pacífico de México. México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México
- Barbosa-Ortega, W.A. (2016). Estructura de las capturas y longitud de madurez del huachinango *Lutjanus peru* (Perciformes: Lutjanidae), Ee en la Bahía de la Ventana B.C.S., México. Tesis de Maestría CICIMAR-IPN, 89 p.
- Díaz-Urbe, J. G. A-Chávez, E. Elorduy-Garay, J. F. 2004. Assessment of the Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) fishery in the southwestern Gulf of California. Ciencias Marinas. Pp. 561-574
- Hilborn R. & C. J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall. 570 p.
- INAPESCA (Instituto Nacional de Pesca). 2014. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México Evaluación y Manejo. Primera edición. SAGARPA. pp.141-175
- Martínez-López, A., Cervantes-Duarte, R., Reyes-Salinas, A., Valdez-Holguín, J.E., 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Hidrobiológica, 11: 45-52.



- NIPARAJA & PRONATURA. 2011. Información del Corredor San Cosme–Punta Coyote, B.C.S. para elaborar la Manifestación de Impacto Regulatorio. Informe para la CONAPESCA. NIPARAJA, 59 p.
- Obeso-Nieblas, M. B Shirasago-Germán, J. Gaviño-Rodríguez, E. Perez-Lezame, H. Obeso-Huerta y A. Jiménez-Illesca. 2008. Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 43: 559-567.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Rodríguez, M. & M.A. Ojeda-Ruíz. 2012. Spatial management of small-scale fisheries on the west coast of Baja California Sur, Mexico. *Marine Policy* 36: 108-112.
- Reddy, SM, Wentz, A., Aburto-Oropeza, O., Maxey, M., Nagavarapu, S. y Leslie, HM (2013). Evidencia de pesca selectiva por tamaño impulsada por el mercado y los efectos mediadores de factores biológicos e institucionales. *Aplicaciones ecológicas*, 23 (4), 726-741.
- Rocha-Olivares, A. (1991). Edad y crecimiento del huachinango del Pacífico *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Perciformes: Lutjanidae) en la bahía de La Paz y zonas adyacentes, BCS, México.
- Rocha-Olivares, A. 1998. Age, growth, mortality, and population characteristics of the Pacific red snapper, *Lutjanus peru*, off the southeast coast of Baja California, Mexico. *Fishery Bulletin* 96: 562-574.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Carta Nacional Pesquera. primera sección.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2018. Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la carta nacional pesquera. Diario Oficial de La Federación. Ciudad de México.

Saucedo-Lozano, M., G. González-Sansón, X. Chiappa-Carrara. 1999. Alimentación natural de juveniles de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Lutjanidae: perciformes) en la costa de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas* 25(3): 381–400

Silva-Méndez, V.M. (2021). Dinámica de la flota pesquera de huachinango (*Lutjanus peru*) en la región de Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México, 47 p.

Trujillo-Retana, G. 2014. Comparación de los hábitos alimentarios del huachinango del Pacífico *Lutjanus peru* (Perciformes: Lutjanidae), en el sur del Golfo de California, México. . Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México, 72 p.

Vázquez-Robles, L. M. 2018. Patrones de Operaciones de la Pesca Ribereña del Corredor San Cosme a Punta Coyote, B. C. S. México. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México.

Zárate-Becerra, M.E., E. Espino-Barr, M. Puente-Gómez, A. García-Boa, E.G. Cabral-Solis, D. Hernández-Montaño, C. Meléndez-Galicia, A. Arellano-Torres, R.M. Gutiérrez-Zavala, E. Cabrera-Mancilla, H.A. Gil-López y A. Labastida-Che. 2014. Huachinango del Pacífico centro-sur, costas de Nayarit a Chiapas. En: L.F.J Beléndez-Moreno, E. Espino-Barr, G. Galindo-Cortes, M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y E Morales Bojórquez (Eds.). *Sustentabilidad y pesca responsable en México; evaluación y manejo*. Instituto Nacional de Pesca, México: 141-178.



# Esclerocronología del gasterópodo *Astraea undosa* (Wood 1828), de la pesca en “La Bocana” Baja California Sur, México

## Sclerochronology of the gastropod *Astraea undosa* (Wood 1828), from the fishery in “La Bocana” Baja California Sur, Mexico

Saito-Quezada Verónica Mitsui<sup>1</sup>, Salgado-Ugarte Isaías Hazarmabeth<sup>1</sup>,  
Gluyas-Millán María Georgina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biología y Biometría Pesquera, Facultad de  
Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

<sup>2</sup>Centro Regional de Investigación Pesquera “La Paz” BCS

Correspondencia Verónica Mitsui Saito-Quezada   [mitsuisaito@gmail.com](mailto:mitsuisaito@gmail.com)

Palabras clave |  
Edad,  
crecimiento,  
Von Bertalanffy,  
Logístico,  
Gompertz

**RESUMEN** | En este estudio se estimaron la edad y el crecimiento del caracol *Astraea undosa* comparando dos métodos para la lectura de marcas en opérculos. Se analizaron 287 individuos de la captura comercial, de la localidad de “La Bocana” Baja California Sur. Para la estimación de la edad se analizaron 147 opérculos en primera instancia sin pulir y después pulidos. En los opérculos sin pulir se observaron de 0 a 11 anillos. El número de anillos (asumida como edad anual) y el diámetro basal (DB) se ajustaron a los modelos de crecimiento de von Bertalanffy (vB):  $L_{\infty} = 119.669$ ,  $k = 0.184$  y  $t_0 = -2.749$  y Logístico:  $L_{\infty} = 112.209$ ,  $g = 0.6870$ ,  $t_0 = .336$ . No fue posible ajustar (no hubo convergencia) el modelo de Gompertz. Los opérculos pulidos permitieron distinguir más claramente las marcas de crecimiento (anillos), por lo cual se considera que conducen a conteos y mediciones más precisas. En los opérculos pulidos se denotaron anillos de 1 hasta 11. La distribución de los radios anulares a cada edad por EDKs en general fue unimodal. Con los datos del DB y el número de anillos (edad) se hicieron los ajustes no lineales para la función de vB:  $L_{\infty} = 116.3093$ ,  $k = 0.2509$  y  $t_0 = -1.5068$ , Gompertz:  $L_{\infty} = 113.4106$ ,  $g = 0.3340$  y  $t_0 = 0.0601$  y Logística:  $L_{\infty} = 111.488$ ,  $g = 1.0623$ ,  $t_0 = 0.4201$ . Tanto la prueba  $T^2$  de Hotelling como la de Razón de Verosimilitud

Keywords |  
Age, growth,  
Von Bertalanffy,  
Logístico,  
Gompertz

indicaron diferencia significativa entre el modelo de von Bertalanffy obtenido de opérculos sin pulir y el modelo a partir de los pulidos. Ambas pruebas señalan a  $t_0$  como la principal causa de diferencia, seguidos de  $k$  y por último  $L_\infty$ .

**ABSTRACT** | In this study the age was estimated and the growth of the marine snail *Astraea undosa* was quantitatively modeled by comparing two methods for the opercular marks interpretation. 287 individuals from the commercial catch at "La Bocana", Baja California Sur, Mexico, were analyzed. For age estimation 147 opercula were examined first without polish and then polished. In the non-polished opercula 0 to 11 rings (growth marks) were observed. With the ring number (assumed as annual ages) and the basal diameter (BD) the growth models of von Bertalanffy (vB):  $L_\infty = 119.669$ ,  $k = 0.184$  y  $t_0 = -2.749$  and Logistic:  $L_\infty = 112.209$ ,  $g = 0.6870$ ,  $t_0 = 0.336$  were fitted (by nonlinear regression); it was not possible to fit the Gompertz model (no convergence was achieved). The polished opercula permitted to distinguish more clearly the growth marks, whereby it is considered that they result in more accurate ring counts and measurements. In the polished opercula 1 to 11 rings were denoted. The distribution of ring diameters at each age by kernel density estimators (KDE's) in general was unimodal. With these BD and age (ring number) data, non-linear fittings for the vB growth function:  $L_\infty = 116.3093$ ,  $k = 0.2509$  y  $t_0 = -1.5068$ , Gompertz:  $L_\infty = 113.4106$ ,  $g = 0.3340$  y  $t_0 = 0.0601$  and Logistic:  $L_\infty = 111.488$ ,  $g = 1.0623$ ,  $t_0 = 0.4201$  were performed. Both Hotelling's  $T^2$  and likelihood ratio tests indicated significant differences between the vB model from non-polished opercula with that from the polished ones. These tests point out  $t_0$  as the main cause for the difference, followed by  $k$  and finally by  $L_\infty$ .

## INTRODUCCIÓN

En el litoral del Pacífico, en las costas de la península de Baja California se tiene registro de explotación pesquera de 17 especies de gasterópodos. Entre las cuales se integra *Astraea undosa* (caracol panocha) (Figura 1) y *A. turbanica*.

La pesca comercial de *A. undosa* se inició en México en el año 1980 con el fin de aprovechar recursos diferentes al abulón y la langosta, como consecuencia de la disminución de la captura del abulón (*Haliotis* spp.). El manejo de la pesquería del caracol es a través de cuotas anuales de captura por zona de pesca, un periodo de veda y una talla mínima de captura de 90 mm de diámetro basal (Singh-Cabanillas, 1996). La captura anual presentó un crecimiento sostenido hasta alcanzar la captura máxima de 400 t de callo fresco en 1989 y desde entonces la captura promedio se ha mantenido en unas 200 t (Gluyas-Millán, et al. 2000). Se captura comercialmente en la costa occidental de la península de Baja California y las principales áreas de pesca se localizan desde Malarrimo hasta La Bocana, Baja California Sur, incluyendo Isla Natividad (Gluyas-Millán et al 2000). En México, las zonas de mayor abundancia de *A. undosa* se ubican desde Punta Eugenia a La Bocana, B.C.S., incluyendo Isla Natividad, donde se captura el mayor volumen. Se regula con una época de veda del 1 de noviembre al 28 de febrero protege el evento reproductivo y el otorgamiento de cuotas de captura. Ocupa el tercer lugar en volúmenes de captura y derrama económica en Baja California, superada únicamente por las pesquerías de abulón y langosta. La captura fluctúa alrededor de las 230 toneladas con un pico máximo de 400t en 1989, y un mínimo de 170t (en 1991). Dos cooperativas realizaron contrato de venta con mercados de Taiwán y Vietnam, a un precio variable entre 4 y 4.6 dólares la lata (Singh-Cabanillas, 1996). También con un volumen de producción en toneladas total de 187 y valor de producción en miles de pesos de 1962 en el 2007 (Anuario Estadístico de Baja California Sur 2008). Se captura por buceo semiautónomo (Hooka) a profundidades de tres a doce metros (Talavera-Maya, et al. 2000).

Por otro lado, la esclerocronología se ha usado para determinar la correlación temporal en conchas de *Arctica islandica* del Holoceno (Marchitto et al., 2000). En algunos bivalvos de la zona templada (Seed, 1980) se forman marcas o anillos

visibles en las conchas (annuli) los cuales se forman en el invierno o al inicio del crecimiento de primavera. En ciertas especies de aguas frías, las marcas en el esqueleto calcáreo pueden ser resultado de la inhibición del crecimiento por las elevadas temperaturas del verano (Wilbur y Owen, 1964). Los moluscos muestran bandas características que son influenciadas por el ambiente, por tanto, se puede esperar que el crecimiento de individuos dentro de una población sea similar. Por ejemplo, cada miembro de una población puede formar una banda gruesa durante un año bueno y una banda delgada durante un subsecuente año malo. Teóricamente los registros de la anchura y la cantidad de esas bandas de diferentes individuos pueden ser correlacionados y conjuntados para su análisis por esclerocronología (Marchitto et al., 2000). Sin embargo, la estimación de la edad en los gasterópodos ha recibido menos atención en comparación con los pelecipodos. Generalmente el estudio de la edad y el crecimiento en los gasterópodos está basado en las marcas de crecimiento de las estrías de las conchas o en los anillos de los opérculos (Chen y Soong, 2002). La edad y el crecimiento se han evaluado por modelos específicos sin discriminación entre ellos (Miranda et al. 2008). Por lo anterior este trabajo tuvo como objetivo: estimar la edad y modelar el crecimiento del caracol panocha *Astraea undosa* de la localidad de “La Bocana”, Baja California Sur.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra de *Astraea undosa* se obtuvo de la captura comercial de la costa occidental de la península de Baja California (La Bocana). El muestreo se llevó a cabo de Julio de 2006. Los caracoles fueron 287 ejemplares recolectados por medio de buceo semiautónomo tipo Hooka. A cada caracol se le midió el diámetro basal (DB), el peso total (PT) y el peso del callo (PC). Asimismo, se conservó el opérculo. Para el análisis de los datos se utilizaron métodos estadísticos exploratorios (Salgado-Ugarte, 1992; 2013; 2017). Posteriormente en su caso, se aplicaron métodos estadísticos confirmatorios como la regresión lineal simple. En algunas relaciones morfométricas se utilizó la regresión funcional (Ricker, 1973).

Los datos y los opérculos fueron depositados en el Centro Regional de Investigación Pesquera de La Paz, Baja California Sur (Instituto Nacional de Pesca),

de donde más tarde se trasladaron a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM al Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera.

A los opérculos se les midió el largo y el ancho con un vernier (0.02 mm) y se pesaron en una balanza digital. En primera instancia, para determinar la edad se contaron los anillos de los opérculos sin pulir con luz reflejada. Para poder determinar el método esclerocronológico de corte y pulido adecuado a los opérculos de la muestra de *A. undosa* se le realizaron varias pruebas, por medio de una cortadora con sierra de diamante (Lapidary, Combination Unit, Model LU6X, Lortor inc., 2850 N.W., SEATTLE, WA 9819). Se cortaron y se desgastaron las tres costillas del lado externo con cuidado para no romper los opérculos y así observar más claramente las marcas de crecimiento utilizando luz transmitida y luz reflejada.

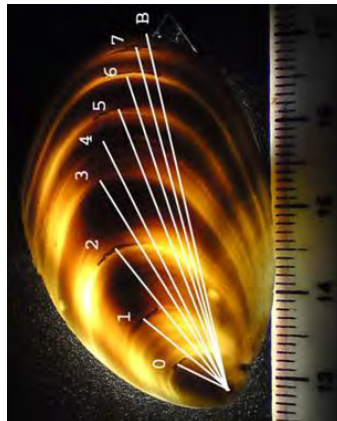
Una vez que se determinada la mejor técnica. Se midieron las longitudes de los radios de cada anillo desde la zona considerada como focal cerca de la espira hasta el inicio de cada zona opaca situada después de cada banda translúcida y finalmente hasta el extremo del opérculo (borde) con un vernier (0.02mm). Debido al crecimiento curvilíneo del opérculo los radios se midieron a partir de la zona focal hasta la parte media del anillo en el opérculo (figura 1). La lectura se realizó en dos tiempos diferentes y de manera aleatoria, sin considerar el DB del caracol. Cuando la primera lectura no coincidía con la segunda se solicitó la ayuda de un segundo lector (lo que sucedió en contadas ocasiones) quien definió el número de anillos considerado para posteriores estimaciones. La periodicidad de las marcas de crecimiento se consideró anual de acuerdo con los resultados de Cupul-Magaña *et al* (1996) y Gluyas-Millán, *et al.* (1999). Por tanto, el número de anillos proporcionó la edad estimada para el ejemplar.

Los datos de longitud y edad individual se ajustaron a funciones de crecimiento (von Bertalanffy, Gompertz y Logística) por métodos de regresión no lineal simple o ponderada (Salgado-Ugarte, *et al.* 2005; Salgado-Ugarte y Saito-Quezada, 2020).

Todos los datos cuantitativos fueron sometidos a métodos de análisis estadístico exploratorio, incluyendo diagramas univariados de dispersión, diagramas de tallo y hoja, diagramas de puntos, diagramas de caja y bigotes e histogramas

(Salgado-Ugarte, 1992; 2013; 2017). Para analizar en mayor detalle la distribución de los valores del diámetro basal se utilizaron histogramas mejorados (suavizados), conocidos como estimadores de densidad por kernel (Silverman, 1986; Härdle, 1990; Scott, 1992; Salgado-Ugarte, 2002). Se utilizaron EDKs tanto de amplitud fija como variable calculados por medio del promedio de histogramas desplazados promedio (10) como discretizados (100 puntos) con kernel gaussiano de acuerdo con las indicaciones de Salgado-Ugarte (1993; 2002) y Salgado-Ugarte y Pérez-Hernández (2003). Los EDKs de amplitud de banda variable son considerados como uno de los mejores métodos disponibles para analizar la distribución de datos (Simonoff, 1996). Una de las razones de lo anterior es que los EDKs de amplitud variable hacen la banda angosta donde los datos son abundantes (para dar detalle) y se amplían donde las observaciones escasean (para eliminar ruido). Se empleó la estrategia de probar la banda sobreesuavizada (para reconocer características peculiares de la distribución, como sesgo, multimodalidad, etc.), la óptima (en el caso de distribuciones gaussianas) o bien la mitad de la óptima en caso de multimodalidad. Las relaciones entre las variables cuantitativas se analizaron mediante procedimientos de correlación y regresión.

Para comparar los parámetros del modelo de von Bertalanffy en los opérculos sin pulir y pulidos, se realizó la prueba multivariada de la T2 de Hotelling (Bernard, 1981) y la prueba de razón de verosimilitud (Kimura, 1980), con los programas propuestos por Salgado-Ugarte et al. (2005).



**Figura 1.** Foto del opérculo (luz transmitida) del Opérculo, donde se muestran los anillos de crecimiento y la medición de cada uno de los siete anillos y el borde (B) a partir de la zona focal.



## RESULTADOS

En general la observación de los anillos en los opérculos fue posible. Sin embargo, como objetivo de este trabajo se llevó a cabo el pulido de estas estructuras para hacer posible la observación de zonas claras y oscuras por medio de luz transmitida. El engrosamiento central del opérculo hace difícil la observación de los anillos completos. Al devastar dicha estructura se ponen al descubierto de manera mucho más clara estas zonas de incrementos. De aquí en adelante se presentan los resultados obtenidos del análisis de los opérculos pulidos. El promedio de longitud de cada radio se presenta en la tabla 1. El número de radios fue de 1 hasta 11 y los promedios presentaron un incremento gradual (como era esperado).

Tabla 1. Resumen estadístico de los radios medidos en opérculos de *A. undosa*

Número de Radios	Media del radio	Desviación Estándar	Frecuencia
1	1.15	0.28	140
2	1.87	0.32	133
3	2.46	0.30	132
4	2.96	0.30	130
5	3.30	0.29	115
6	3.61	0.37	57
7	3.70	0.41	24
8	3.85	0.39	17
9	3.99	0.42	11
10	3.69	0.12	4
11	3.85	0.00	1
Total	2.67	0.95	905

La distribución de los radios a cada edad se presenta en la figura 2. Puede distinguirse que en general las distribuciones fueron unimodales. En los casos con la indicación de modas adicionales estas fueron mucho menores y una de ellas fue claramente dominante en la mayoría.

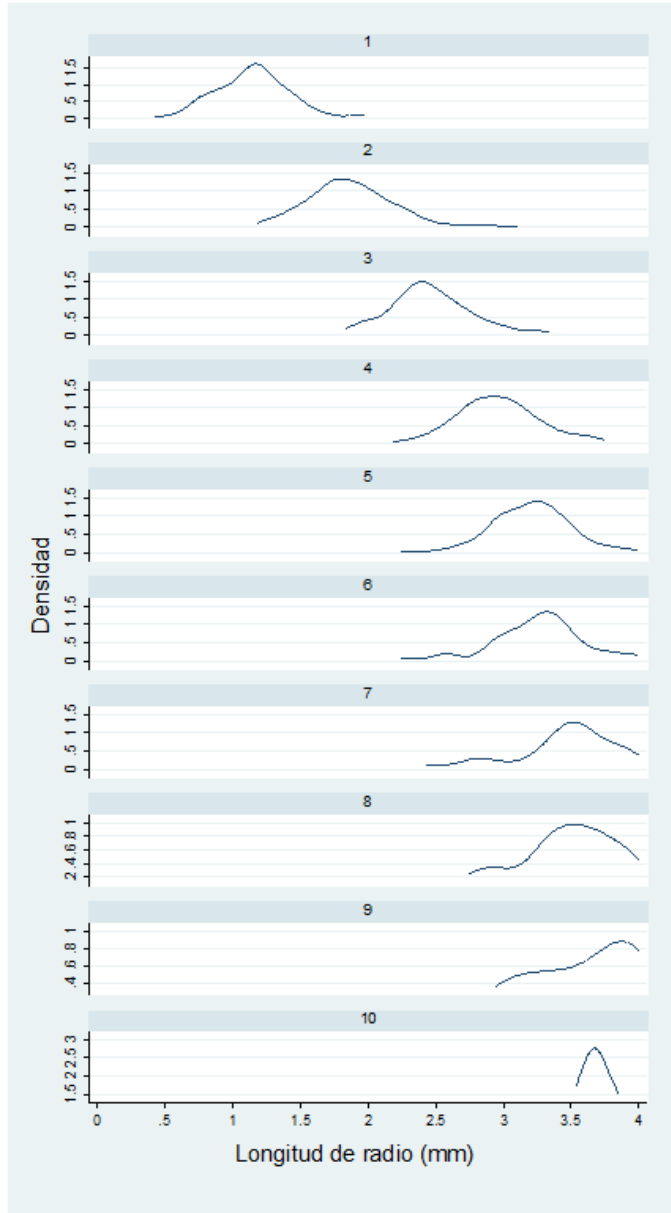


Figura 2. Estimadores de densidad por kernel de longitud de radio por anillo de opérculos.

Las modas dominantes de cada grupo se presentan en la tabla 2. El diagrama de dispersión para la longitud de los radios respecto al número de anillo se presenta en la figura 3.

Tabla 2. Modas para anillos de opérculos.

Número de anillo	Moda
1	1.15
2	1.80
3	2.36
4	2.95
5	3.31
6	3.65
7	3.74
8	3.96
9	4.32
10	3.71
11	3.52

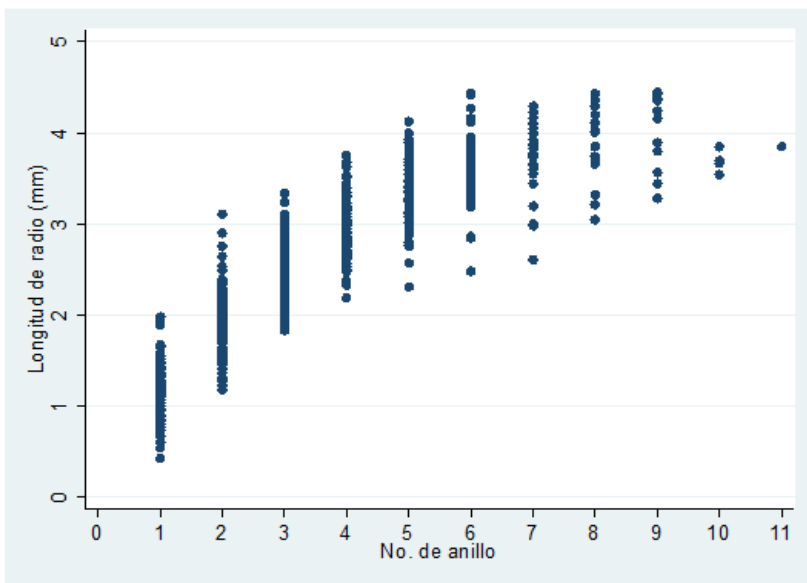


Figura 3. Gráfico de dispersión de longitud de radio contra número de anillo en opérculos.

## Diámetro basal y edad:

Considerando la periodicidad anual reportada por Gluyas-Millán et al. (1999) se presentan los valores medios de diámetro basal por edad en la Tabla 3 y su representación gráfica en la figura 4.

Tabla 3. Resumen de Diámetro Basal (mm) y edad de individuos

Edad	Media	Desviación estándar	Frecuencia
1	58.14	6.20	7
2	76.00	0.00	1
3	74.00	7.07	2
4	88.33	6.47	15
5	92.53	5.24	58
6	100.50	5.62	34
7	99.33	7.22	6
8	105.50	4.37	6
9	111.00	5.03	7
10	104.66	6.11	3
11	108.00	0.00	1
Total	93.85	12.5437	140

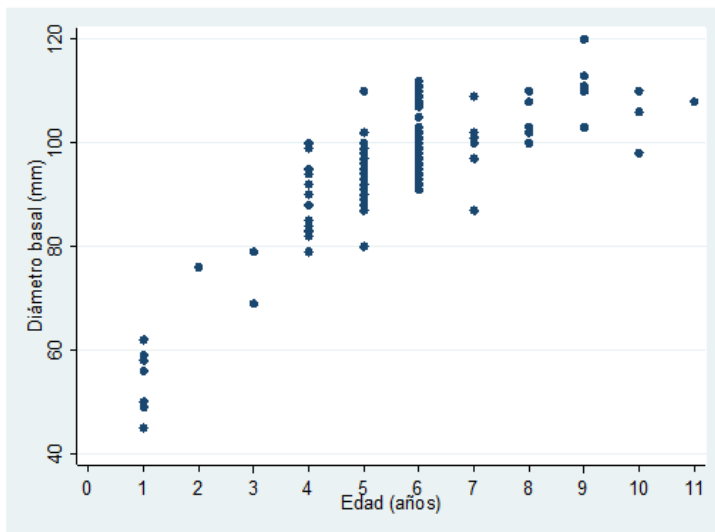


Figura 4. Gráfica de dispersión del diámetro basal contra la edad

Con estos valores se hicieron los ajustes no lineales para las funciones de von Bertalanffy, Gompertz y Logística, cuyos valores se presentan en las tablas de la 4 a la 6 y su representación gráfica en las Figuras de la 5 a la 7.

### Von Bertalanffy

Tabla 4. Resumen estadístico de la regresión no lineal para ajuste de la función de crecimiento de von Bertalanffy para *A. undosa*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Números de observación = 140		
Modelo	1250560.2	3	416853.4	F (3, 137) = 12431.74		
Residual	4593.80	137	33.53	Probabilidad > F = 0.0		
Total	1255	140	8965.38	R-cuadrada = 0.99		
				R-cuadrada ajustada = 0.99		
				Error de estimación = 5.79		
				Desv. residual = 886.01		
Función von Bertalanffy, diámetro basal = $L_{\infty} \cdot (1 - \exp(-k \cdot (\text{edad} - t_0)))$						
Longitud total	Coefficiente	Error Estándar	t	P >  t	[Intervalo de Confianza 95%]	
$L_{\infty}$	116.31	3.51	33.08	0.00	109.35	123.26
k	0.25	0.03	8.13	0.00	0.18	0.31
$t_0$	-1.50	0.31	-4.83	0.00	-2.12	-0.89
(Errores estándar, valores de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas)						

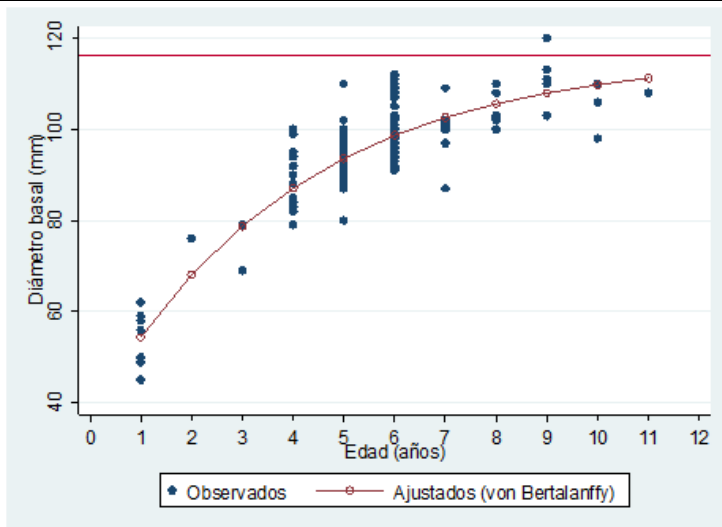


Figura 5. Representación gráfica de la regresión no lineal en función de von Bertalanffy del diámetro basal contra edad en años.

## Gompertz

Tabla 5. Resumen estadístico de la regresión no lineal para ajuste de la función de crecimiento de Gompertz en *A. undosa*

Fuente	Sumas de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Número de observaciones = 140 F (3, 137) = 12454.89			
Modelo	1250568.71	3	416856.23	Probabilidad > F =	0.00		
Residual	4585.29	137	33.46	R-cuadrada =	0.99		
Total	1255154	140	8965.38	R-cuadrada ajustada =	0.99		
				Error de estimación =	5.78		
				Desv. residual =	885.75		
Función de Gompertz con tres parámetros: diámetro basal= $L_{\infty} \cdot \exp(-\exp(-g(\text{edad} - t_0)))$							
Longitud total	Coeficiente	Error Estándar	t	P> t	[Intervalo de confianza 95%]		
$L_{\infty}$	113.41	3.70	41.91	0.00	108.06	118.76	
g	0.33	0.03	10.18	0.00	0.69	0.39	
$t_0$	0.06	0.18	0.32	0.74	-0.30		
(Errores estándar, valores de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas)							

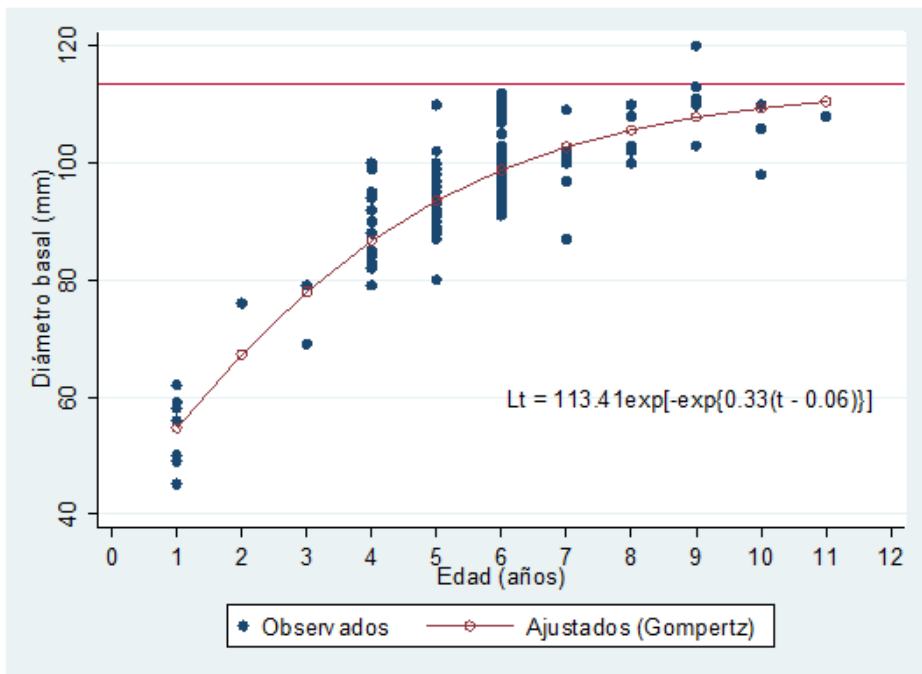


Figura 6. Gráfica de la función de crecimiento de Gompertz en diámetro basal y edad.

Logística

Tabla 6. Resumen estadístico de la regresión no lineal para ajuste de la función de crecimiento de Logística para *A. undosa*

Fuente	Sumas de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Número de observaciones = 140 F( 3, 137) = 12441.27	
Modelo	1250563.71	3	416854.569	Probabilidad >F = 0.00	
Residual	4590.29	137	33.577	R-cuadrada = 0.99	
Total	1255144	140	8965.38	R-cuadrada ajustada= 0.99 Error de estimación = 5.78 Desv. residual = 885.91	
Función Logística de 3 parámetros, diámetro basal= $L_{\infty}/(1+\exp(-g*(edad- t_0)))$					
Longitud total	Coefficiente	Error Estándar	t	P>  t	[Intervalo de Confianza 95%]
$L_{\infty}$	111.4879	2.2467	49.62	0.000	107.045 115.9307
g	0.4201	0.0359	11.70	0.000	0.3491 0.4911
$t_0$	1.0623	0.1674	6.34	0.000	10.7311 1.3934
(Errores estándar, valores de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas)					

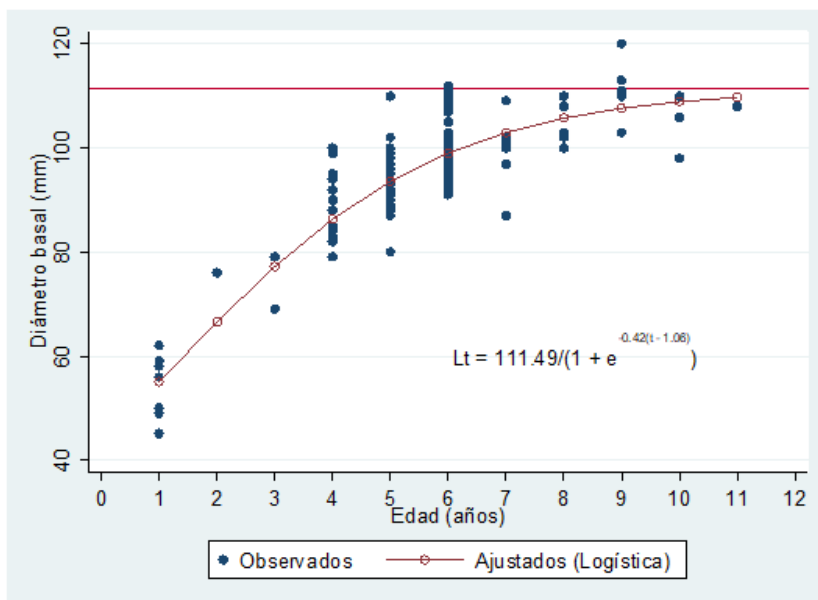


Figura 7. Representación gráfica de la regresión no lineal del diámetro basal contra la edad de acuerdo con la función de Logística.

De los cuadros estadísticos puede notarse que, de acuerdo con el coeficiente de determinación, las tres funciones representan adecuadamente la relación entre el tamaño (diámetro basal) y la edad. En la figura 8 se hace una comparación gráfica de las tres funciones, notándose la similitud cercana de las mismas. La diferencia pudiera notarse por el comportamiento de las curvas en las edades 2 a 4 y después de la 9, en donde la asintota de von Bertalanffy es la mayor (116.31) y la logística la menor (111.48), quedando el valor asintótico de Gompertz en el medio (113.41).

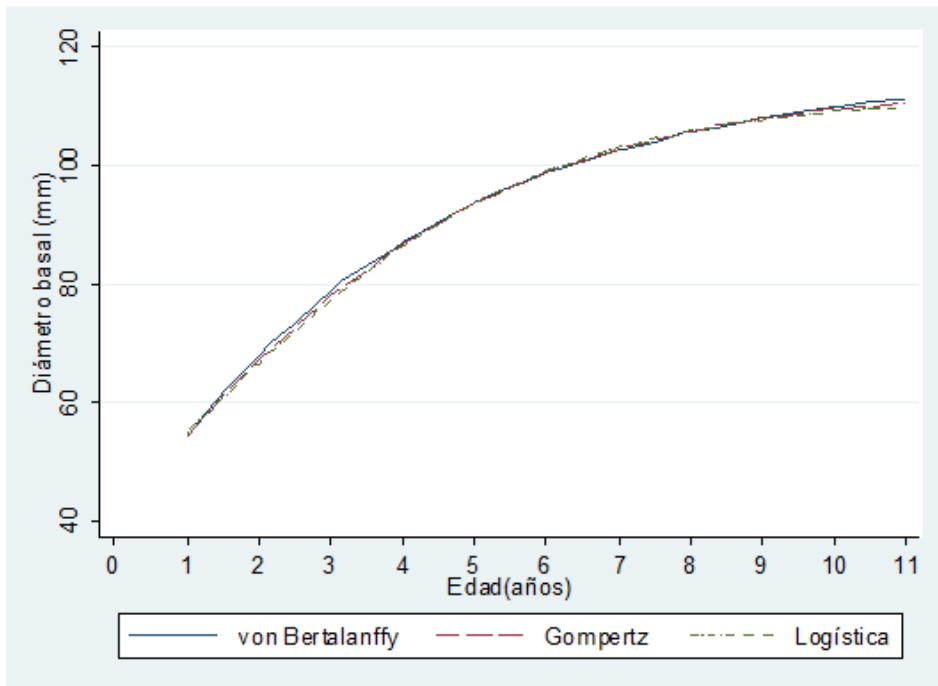


Figura 8. Gráfico de las funciones de crecimiento de von Bertalanffy, Gompertz y Logística.

### Pruebas de comparación de modelos de crecimiento

Para la comparación de los parámetros en las funciones de crecimiento de von Bertalanffy obtenidas con los opérculos sin pulir y opérculos pulidos, se utilizaron las pruebas de T2 de Hotelling (tabla 7) y de razón de verosimilitud (tabla 8).



## T2 de Hotelling

Tabla 7. Prueba de T2 de Hotelling para comparación de parámetros de las ecuaciones de von Bertalanffy de opérculos sin pulir y opérculos pulidos.

Matriz de varianza-covarianza (S)			Inversa de (S)		
16.69	-.10	-1.13	.52	88.28	-1.49
	.00	.009		19767.49	-581.63
		.13			33.37
[3.35 -0.06 -1.24] = [P1 - P2]'					
$T^2 = 1572.94$		$T^2_{0.01; 3,283} = 11.63$	$F_{0.01; 3,283} = 3.85$		
Intervalo de confianza 99 %					F Crítica
1.71	$\leq L_{\infty 1} - L_{\infty 2} \leq$		5.00	16.04	
-0.07	$\leq K_1 - K_2 \leq$		-0.05	131.83	
-1.39	$\leq t_{01} - t_{02} \leq$		-1.09	265.35	

Como el valor calculado (1572.94) es mayor que el de tablas (11.64) se rechaza la hipótesis nula de que los vectores de parámetros de la FCvB estimado a partir de opérculos sin pulir es igual al vector de parámetros obtenidos a partir de opérculos pulidos. Ninguno de los intervalos de confianza (para  $L_{\infty}$ ,  $K$  ó  $t_0$ ) contiene al cero, por lo que los tres parámetros son diferentes. Los valores críticos de F indican que la diferencia con mayor influencia para el rechazo de igualdad es la de las  $t_0$ s, seguida por las  $k$ s y en menor grado por las longitudes asintóticas). La conclusión general de la prueba multivariada de la T2 de Hotelling es que existen diferencias entre los parámetros estimados con opérculos sin pulir con las estimaciones obtenidas a partir de opérculos pulidos.

## Razón de verosimilitud

Tabla 8. Prueba de razón de verosimilitud para la comparación de funciones de crecimiento de von Bertalanffy a partir de opérculos sin pulir y pulidos en *Astraea undosa*, de la Bocana

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	PRV	gl	P
Ninguna	$119.669[1-\exp\{-0.184(t_{1j}+2.749)\}]$ $116.309[1-\exp\{-0.251(t_{2j}+1.507)\}]$	9500.657			
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$	$117.479[1-\exp\{-0.195(t_{1j}+2.615)\}]$ $117.479[1-\exp\{-0.261(t_{2j}+1.599)\}]$	9512.691	0.363	1	0.547
$K_1 = K_2$	$115.222[1-\exp\{-0.214(t_{1j}+2.361)\}]$ $120.906[1-\exp\{-0.214(t_{2j}+1.886)\}]$	9597.183	2.901	1	0.089
$t_{01} = t_{02}$	$115.355[1-\exp\{-0.218(t_{1j}+2.204)\}]$ $122.115[1-\exp\{-0.199(t_{2j}+2.204)\}]$	9698.175	5.906	1	0.015
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	$117.334[1-\exp\{-0.215(t_j+2.167)\}]$	10084.25	17.109	3	0.0007

Para el caso de razón de verosimilitud, se observa que al comparar los valores del caso sin restricciones (ecuaciones separadas) con las estimaciones de una sola ecuación el valor de P (0.0007) señala diferencias significativas entre los modelos. Las comparaciones entre los valores correspondientes de  $L_{\infty}$  no indican diferencias; para los parámetros de curvatura K se tiene una significancia al 1 % (0.089) pero la diferencia entre los valores de  $t_0$  (P = 0.015) indican que estos parámetros son significativamente diferentes. Por tanto, en general se tienen diferencias entre los valores obtenidos con opérculos sin pulir y los estimados a partir de opérculos pulidos, sobre todo en los valores de  $t_0$  y K aunque no en  $L_{\infty}$ . Estos resultados corresponden en lo general con la prueba multivariada de la T2 de Hotelling, si bien es más estricta al no encontrar diferencias entre las longitudes asintóticas.

Tabla 9. Media, desviación estándar y frecuencia de los diámetros de radios de opérculos *Astraea undosa*.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	30	Total	
1	1.238 0.1472 7	- - 0	- - 0	- - 0	- 0 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	1.7125 0.1956 7	1.4752 0.2971 14
2	1.41 0 1	2 0 1	- - 0	- - 0	- 0 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	2.3 0 3	1.9033 0.4528 3
3	0.9669 0.2842 2	1.712 0.4921 2	2.1600 0.1668 2	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	2.431 0.1937 2	1.8175 0.6374 8
4	1.162 0.2249 15	1.7606 0.2501 15	2.3540 0.1762 15	2.9326 0.2753 15	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	3.2174 0.2776 15	2.2853 0.7936 75
5	1.1353 0.2813 58	1.8998 0.3087 58	2.4391 0.2929 58	2.9309 0.2623 58	3.2717 0.2207 58	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	3.4419 0.2426 58	2.5196 0.8500 348
6	1.237 0.3219 34	1.9888 0.3250 34	2.6055 0.2809 34	3.0590 0.3265 34	3.4378 0.2729 34	3.6558 0.2848 34	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	3.8858 0.3446 34	2.8301 0.9500 239
7	0.9833 0.1652 6	1.5773 0.2288 6	2.338 0.3118 6	2.945 0.2947 6	3.242 0.3486 6	3.5223 0.3716 6	3.7226 0.3956 6	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	3.88 0.3751 6	2.7763 1.0382 48
8	0.9776 0.2953 6	1.8453 0.2702 6	2.4136 0.2915 6	3.0156 0.2116 6	3.3243 0.1745 6	3.577 0.1602 6	3.7716 0.1556 6	3.8503 0.1454 6	- - 0	- - 0	- - 0	- - 0	3.9853 0.1418 6	2.9734 0.9998 54
9	1.2442 0.3461 7	2.1042 0.5775 7	2.6531 0.4743 7	3.104 0.4351 7	3.4371 0.4161 7	3.9468 0.3317 7	3.9937 0.2507 7	4.1668 0.2347 7	4.2724 0.1969 7	- - 0	- - 0	- - 0	4.3791 0.2476 7	3.3301 1.0591 70
10	0.9600 0.1315 3	1.7153 0.2336 3	2.1566 0.2601 3	2.5473 0.3277 3	2.688 0.3509 3	2.8406 0.3550 3	3.0826 0.4287 3	3.6859 0.2605 3	3.55 0.2605 3	3.6859 0.1557 3	- - 0	- - 0	3.836 0.0557 3	2.7641 0.8882 33
11	1.118 0 1	1.6 0 1	2.178 0 1	2.3239 0 1	2.5720 0 1	2.8499 0 1	3 0 1	3.21 0 1	3.4419 0 1	3.698 0 1	3.852 0 1	- - 0	3.974 0 1	2.8181 0.8966 12
Total	1.1526 0.2823 140	1.8762 0.3283 133	2.453 0.3047 132	2.2650 0.3048 130	3.3078 0.2914 115	3.6121 0.3703 57	3.7006 0.4129 24	3.8535 0.3957 17	3.9999 0.4250 11	3.689 0.1273 4	3.852 0 1	- - 0	3.5178 0.6030 140	2.6742 0.9534 904

## DISCUSIÓN

En general la observación de los surcos superficiales (marcas de crecimiento) de los opérculos fue posible. Sin embargo, como objetivo de este trabajo se llevó a cabo el pulido de estas estructuras para hacer posible una mejor observación de zonas claras y oscuras por medio de luz transmitida. El engrosamiento central y las crestas del opérculo hicieron difícil la observación de algunas zonas en los opérculos sin pulir. Al desbastar las crestas y pulir los opérculos reduciendo su grosor, se puso al descubierto, de manera mucho más clara, las zonas hialinas y opacas, tal como el trabajo realizado por Cupul-Magaña y Torres-Moye (1996) donde también se pulieron los opérculos. De los 287 datos morfométricos de *A. undosa*, sólo se pudieron utilizar 140 opérculos y en el transcurso del trabajo se rompieron dos los cuales no pudieron incluirse en el análisis de la longitud de radios. De aquí en adelante se presenta la discusión de los resultados obtenidos del

análisis de los opérculos pulidos. El promedio de longitud de cada radio (tabla 1) muestra un incremento paulatino excepto para las edades mayores, donde el tamaño varió más que nada por el reducido número de ejemplares de edades mayores.

El número de radios de 1 hasta 11 (tabla 1) fue semejante al encontrado por Gluyas-Millán et al (1999) en Bahía Tortugas, donde en la zona A se encontraron para la zona A (edad mayor de 11 años), semejantes a las edades mayores de este estudio con opérculos pulidos. En los casos de los promedios presentaron un incremento gradual (como era esperado que ocurriera). Puede notarse que los valores medios del primer y radios muestran valores con mayor separación que en los siguientes. La separación entre los promedios se fue haciendo menor para edades intermedias y a las mayores edades se registró fluctuación debido al reducido número de ejemplares (tabla 1). Lo anterior indica que la información es adecuada para la estimación de modelos de crecimiento asintótico (von Bertalanffy, Gompertz, Logístico).

Lo arriba citado resulta diferente con lo reportado en Punta Banda por Cupul-Magaña y Torres-Moye (1996), ya que estos autores encontraron, tanto en machos como hembras 12 anillos y los promedios para radios siempre fueron incrementando (sin fluctuaciones como en el presente estudio).

La distribución de los radios a cada edad por estimadores de densidad por kernel de longitud del radio por anillo de los opérculos de *A. undosa* (figura 4) tiene la utilidad de servir como una forma de comprobar la realización de una lectura apropiada (Morales-Nin, 1992). Si las marcas son consistentes y la lectura es adecuada, es de esperar que los radios medidos sigan una distribución unimodal. En este estudio puede distinguirse que, en general, las distribuciones obtenidas con los EDKs, los cuales son estimadores más eficientes que los tradicionales histogramas (Salgado-Ugarte, 2002; Salgado-Ugarte et al. 2005) fueron unimodales. En los casos con la indicación de modas adicionales estas fueron mucho menores y una de ellas fue claramente dominante en la mayoría excepto para los anillos 9 en donde se observó una bimodalidad con aproximadamente la misma frecuencia para cada moda. No obstante, es posible apreciar la tendencia al aumento paulatino de las marcas periódicas.

Al analizar el comportamiento de las modas dominantes de cada grupo representadas en la tabla 2 se hizo notorio el valor menor para los 10 y 11 anillos en comparación con la moda del grupo con 9. Esto puede atribuirse al reducido tamaño de muestra (4 y 1 individuos). El diagrama de dispersión para la longitud de los radios respecto al número de anillo representado en la figura 7 muestra lo anterior de manera clara: los puntos de los individuos con 10 y 11 anillos están al nivel de los valores menores de ejemplares con 9 anillos. Esto indica la necesidad de obtener muestras adicionales para tener una mejor representación de los organismos de estas edades.

En otro estudio realizado en 1997 en Bahía Tortugas Gluyas-Millán *et al.* (1999) también con *A. undosa*, las edades intermedias resultaron ser las más dominantes (de 5 a 9 años) para las dos zonas consideradas. Por lo tanto, las clases de edad, el promedio del DB en ambas zonas (de 3 a 10 años) están por debajo de los promedios del DB de este trabajo, sin embargo, se observó que los valores estuvieron entre los 2 años en la zona B y a los 11 años de la zona A, lo que denota que una semejanza con los resultados de la Bocana ya que están dentro de los valores de las zonas A y B de Bahía Tortugas.

Para la Costa Occidental de la Península de Baja California Gluyas-Millán *et al.* (2000) reportaron promedios de DB de *A. undosa*, donde las primeras clases de 0 a 6 años están por debajo y las últimas edades de 10, 11 y 12 por arriba de los de La Bocana. Este no es el caso para las edades de 8 y 9 en Malarrimo, la de 7 años en Isla Natividad y 7,8 y 9 en Bahía tortugas, valores que son similares a los del presente trabajo (tabla 3).

En el estudio de la Isla San Jerónimo, Baja California Rodríguez-Valencia *et al.* (2002) reportan un promedio de diámetro basal de 68.4 mm, el cual, de acuerdo con el trabajo de Gluyas-Millán *et al.* (1999) corresponde a individuos menores de 5 años y es semejante a los individuos de un año de la Bocana (este estudio).

En el análisis de la regresión no lineal para la función de crecimiento de von Bertalanffy (tabla 2), se observó que los parámetros son estadísticamente significativos. Con un valor de  $L_{\infty} = 116.3093$ ,  $k = 0.2509$  y  $t_0 = -1.5068$ . Esto difiere con los resultados de Cupul-Magaña y Torres-Moye (1996), donde los caracoles de *A. undosa* fueron más pequeños con valores de:  $L_{\infty} = 103.43$ ,  $k = 0.1243$  y  $t_0 = -0.32294$

(machos) y  $L_{\infty} = 100.58$ ,  $k = 0.1005$  y  $t_0 = -0.6420$  (hembras). El intervalo de tallas menores considerado por estos autores parece ser la causa de estas diferencias.

En el estudio realizado por Gluyas-Millán et al. (2000), fue notable que los individuos de *A. undosa*, en varias localidades resultaron ser más grandes ya que sus valores fueron para Malarrimo:  $L_{\infty} = 167.84$ ,  $k = 0.103$  y  $t_0 = -1.36$ ; Isla Natividad:  $L_{\infty} = 172.72$ ,  $k = 0.102$  y  $t_0 = -1.58$ ; Bahía Tortuga:  $L_{\infty} = 175.1$ ,  $k = 0.100$  y  $t_0 = -1.23$ ; Bahía San Cristóbal:  $L_{\infty} = 170.44$ ,  $k = 0.095$  y  $t_0 = -1.52$ ; Bahía Asunción:  $L_{\infty} = 168.23$ ,  $k = 0.089$  y  $t_0 = -1.69$ . Lo cual de acuerdo con lo observado los valores de la Bocana en este estudio quedan intermedios.

### Pruebas de comparación de los modelos y crecimiento

Puede destacarse que los ajustes de las funciones Gompertz y Logística (tablas 5 y 6; figuras 7 y 8 respectivamente), fueran significativas y con valor elevado de coeficiente de determinación. Por lo tanto, se puede afirmar que los tres modelos considerados son adecuados para describir el crecimiento de *A. undosa* en La Bocana, BCS. En un estudio de edad y crecimiento con otra especie de gasterópodo *Neptunea arthritica* Suzuki, et al (1996), aplicaron los modelos de Gompertz y Logístico, también se ajustaron bien para sus datos siendo mejor el modelo Logístico. Para esta misma especie en otro estudio (Miranda et al., 2008) aplicaron los tres modelos (von Bertalanffy, Gompertz y Logístico) los datos se ajustaron bien, sin embargo, en este caso el modelo que mejor se ajustó fue el de Gompertz.

La comparación gráfica de las funciones de crecimiento de von Bertalanffy, Gompertz y Logística (figura 9), permite apreciar la semejanza de los ajustes a pesar de las diferencias en las longitudes asintóticas: el de von Bertalanffy fue el mayor (116.31) seguido por el de Gompertz de (113.41) y al final el de la función Logística (111.48).

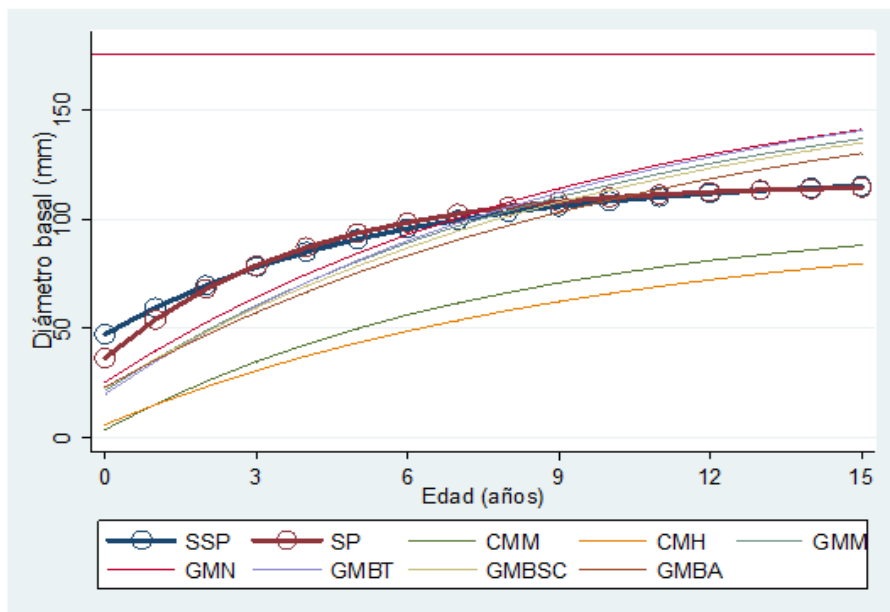


Figura 9. Comparación gráfica de las ecuaciones de von Bertalanffy de este estudio (círculos) con las obtenidas por otros investigadores. SSP (este estudio sin pulir; SP (este estudio pulido); CMM (Cupul-Magaña y Torres-Moye, machos); CMH (Cupul-Magaña y Torres-Moye hembras); GMM (Gluyas-Millán Malarribo); GMN (Gluyas-Millán, *et al.* Natividad); GMT (Gluyas-Millán *et al.* Bahía Tortugas); GMBSC (Gluyas-Millán, *et al.* Bahía de San Cristóbal); GMBA (Gluyas-Millán *et al.* Bahía Asunción); la línea horizontal es la asíntota ( $L_{\infty} = 175.1$  DB) de GMT.

En la tabla 9 se incluyen a la, media aritmética, desviación estándar y frecuencia de los diámetros de radios de opérculos de *A. undosa*, los cuales mostraron que el valor más alto de frecuencia de los diámetros de radios fue de 58 mediciones hasta los 5 años y con 115 en total contaban con este anillo seguido por el radio 6 con 34 mediciones de seis años en total, lo cual nos indicó que el mayor número de mediciones de la muestra tenían entre hasta 5 y 6 años. Respecto a los valores de la media se observaron con mejor detalle que en la tabla 1, que reveló un aumento en la media del radio 9 y una disminución en los radios 10 y 11, lo cual se atribuye por la cercanía entre sí de los últimos anillos. A pesar de haber observado en los 133 opérculos el segundo anillo solo se contó con un organismo de esa edad, lo mismo sucedió para el caso del radio 11 en cual solo se observó un individuo de esta edad en la muestra.

La prueba de T2 de Hotelling indicó diferencia significativa entre las funciones (sin pulir y pulidos). Las diferencias fueron claras para las  $t_0$  y los valores de  $k$  y en menor grado para las longitudes asintóticas. Al observar de intervalos de confianza para las diferencias se tuvieron los siguientes:  $L^\infty$  ( $1.7137 \leq L^\infty_1 - L^\infty_2 \leq 5.0055$ ),  $k$  ( $-0.0781 \leq K_1 - K_2 \leq -0.0553$ ) y  $t_0$  ( $-1.3922 \leq t_{01} - t_{02} \leq -1.0928$ ); en ninguno de ellos se incluye al cero lo cual nos indicó la existencia de diferencias estadísticas significativas (Bernard, 1981; Salgado-Ugarte, et al. 2005) entre las funciones de crecimiento. Lo anterior sugiere que las estimaciones de tiempo cero y parámetro de curvatura son menores y la longitud asintótica es mayor con las lecturas de opérculos sin pulir. Al observar los valores críticos de  $F_0$ , se tiene que el parámetro con mayor influencia en la diferencia es la  $t_0$ , seguida del parámetro de curvatura ( $K$ ) y finalmente la longitud asintótica.

Las pruebas de razón de verosimilitud de manera similar indicaron la existencia de diferencias significativas en las funciones de crecimiento. La comparación de las verosimilitudes del modelo sin restricciones con el modelo de ecuaciones separadas indicó una clara diferencia significativa. El valor de prueba para los siguientes casos mostró diferencias para  $t_0$  (al 5% de significancia) y para  $k$  (al 1%). La comparación entre las longitudes asintóticas no mostró diferencias significativas.

De esta manera, ambas pruebas indican la diferencia entre las ecuaciones obtenidas por los métodos, si bien la razón de verosimilitud es más estricta para el rechazo de la hipótesis nula de igualdad en el vector de parámetros.

## CONCLUSIONES

El número de radios fue de 1 hasta 11. Esto difirió de lo obtenido con opérculos sin pulir, ya que los anillos que no se veían en los opérculos sin pulir se hacían evidentes una vez pulidos y los que parecían no tener anillo a trasluz mostraron al primero. De esta manera todos los opérculos tuvieron al menos un anillo cerca de la espira.



Las distribuciones de los radios a cada edad en general fueron unimodales, y la moda de cada grupo se fue incrementando al aumentar el número de anillo, lo que indica lo apropiado de las lecturas.

La mayor frecuencia estuvo dada en individuos de 5 y 6 radios con DB mayores a 90 mm, lo que indicó el cumplimiento de la talla mínima de captura para *A. undosa* (Singh-Cabanillas, 1996).

En los ajustes no lineales para los opérculos pulidos, de acuerdo con el valor de diámetro basal asintótico, el mayor fue el von Bertalanffy  $L_t = 116.309[1 - \exp(-0.251(t+1.507))]$ , seguido por el de Gompertz  $L_t = 113.4106 \exp[-\exp(-0.334 \{t - 0.0601\})]$  y finalmente el del Logístico  $L_t = 111.488/[1 + \exp(-0.422\{t - 1.063\})]$ , todas con un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.98.

La prueba multivariada de Hotelling (Bernard, 1981) indicó que la función de crecimiento de von Bertalanffy obtenida a partir de las lecturas de los opérculos sin pulir fue estadísticamente diferente de la función de von Bertalanffy obtenida de las lecturas en opérculos pulidos. La diferencia estuvo marcada (valores críticos de F) por la diferencia de las  $t_0$ , seguidas de los parámetros de curvatura ( $k$ ) y finalmente por las longitudes asintóticas. Esto sugiere estimaciones diferentes del crecimiento inicial y de los parámetros de curvatura y no tanto de las longitudes asintóticas a partir de los opérculos sin pulir y pulidos.

La prueba de razón de verosimilitud concordó con la prueba multivariada de  $T_2$ , indicando diferencias significativas entre las funciones en general y para las  $t_0$ s y  $k$ s de los modelos en ese orden de influencia. La prueba no detectó diferencia entre las longitudes asintóticas.

Lo anterior, junto con la mejor observación de las marcas de crecimiento después del pulido llevan a recomendar (a pesar del mayor trabajo) el tratamiento de los opérculos para obtener estimaciones más precisas (basadas en mejores mediciones de radios) del crecimiento.

## Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, a la DGAPA (PAPIME PE205407; PE207417; PE204822) y a la FES Zaragoza UNAM, al CONACyT por la beca otorgada (Registro CVU 215996), ya que con ella pude realizar mis estudios. Al Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz-INAPESCA, en particular a la Biól. Margarita Muciño Díaz y al M. en C. Jesús Talavera Maya por su trabajo en la obtención de la muestra biológica de la especie estudiada; al Dr. Abraham Navarrete del Prío y al Biól. Luis Beléndez Moreno ambos directores generales de Investigación Pesquera del INAPESCA, a el CRIP-La Paz (el primero) y por las gestiones para el uso de la información y material biológico (el segundo).

## REFERENCIAS

- Anuario Estadístico de Baja California Sur 2008, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG).
- Bernard, D.R. 1981. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 233-236.
- Chen M.H. y K. Soong, 2002 Estimation of age sex-changing coral-inhabiting snail *Coralliphila violácea* from the growth striae on opercula and a mark-recapture experiment. *Marine Biology* 140: 337-342.
- Cupul-Magaña, F.G. y G. Torres-Moye, 1996. Age and growth of *Astraea undosa* Wood (Mollusca: Gastropoda) in Baja California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 59: 40-497.
- Gluyas-Millán M.G., C. Quiñonez-Velazquez, J.A. Massó-Rojas y F.N. Melo-Barrera. 1999. Diferencias en la relación talla-edad del caracol panocha *Astraea undosa* (Wood 1828) entre dos localidades de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 25(1):91-106.

- Gluyas-Millán, M.G., C. Quiñonez-Velázquez, y J. Talavera-Maya. 2000. Parámetros poblacionales del caracol *Astraea undosa* (Wood, 1828) en la costa occidental de la península de Baja California. *Ciencias Marinas* 26(4): 643-658.
- Marchitto T.M. Jr, G.A. Jones, G.A. Goodfriend y R.C. Weidman. 2000. Precise temporal correlation of Holocene mollusk shells using Sclerochronology, *Quaternary Research* 53, 236-246.
- Morales-Nin, B. 1992. Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries Technical Paper (FAO) No. 322*. Roma: 57 p.
- Miranda M.R., K. Fujinaga y S. Nakao. 2008, Age and growth of *Neptunea arthritica* from growth marks in the operculum, *Marine Biology Research*, 208; 4: 224-235.
- Panfili J., H. De Pontual, H. Troadec y P.J. Wright (Eds.). 2002. *Manual of fish sclerochronology*, IFREMER-IRD, Brest, France: 463 p
- Ricker, W.E. 1973. Linear regressions in fishery research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30: 409-434.
- Salgado-Ugarte, I.H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones. *ENEP Zaragoza UNAM y Marc editores*, México, 250 p.
- Salgado-Ugarte, I.H. 1995. Nonparametric methods for fisheries data analysis and their application in conjunction with other statistical techniques to study biological data of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* in Tokyo Bay. Tesis de Doctorado en Biociencia Acuática, Universidad de Tokio, Japón, 389 p.
- Salgado-Ugarte, I.H. 2002. Suavización no paramétrica para análisis de datos. *Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM*, México, 138 p.
- Salgado-Ugarte, I.H. 2013. Métodos Estadísticos Exploratorios y Confirmatorios para Análisis de Datos. Un Enfoque Biométrico. DGAPA (PAPIME PE205407) y FES Zaragoza, UNAM, México: 307 p. Disponible (2017) como ePub en <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/296>.

- Salgado-Ugarte, I.H. y M.A. Pérez-Hernández, 2003. Exploring the use of variable bandwidth kernel density estimators. *The Stata Journal*, 3(2): 133-147.
- Salgado-Ugarte, I.H. y V.M. Saito-Quezada, 2020. Métodos cuantitativos computarizados para biología pesquera. DGAPA (PAPIME PE207417) y FES Zaragoza, UNAM, México: 487 p. Disponible en <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/biombiolpesca/>.
- Salgado-Ugarte, I.H., J.L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza. 2005. Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México, 240 p.
- Scott, D.W. 1992. *Multivariate density estimation: Theory, practice, and Visualization*. John Wiley & sons, Nueva York, 317 p
- Secretaría de Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, 1994. Atlas pesquero de México. Instituto Nacional de la Pesca. México: 44-45; 226.
- Silverman, B.W. 1986. *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman & Hall, Londres, 175p
- Singh-Cabanillas J. 1996. Pesquería del caracol panocha en: Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP, Gobierno del Estado de Baja California Sur, FAO, Instituto Nacional de la Pesca, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, CETMAR. Vol. I: 43-58
- StataCorp. 2009. *Stata: Release 11. Statistical Software*. College Station, TX: StataCorp LP.
- Suzuki K., T. Hiraishi, K. Yamamoto y K. Nashimoto. 1996, Age determination and growth analysis based on size-frequency histograms of the whelk *Neptunea arthritica* in Shiruishi, Hokaido. *Nippon Suisan Gakkashi* 62: 225-9 (en japonés, con resumen en inglés).

Talavera Maya, J., P. Sierra Rodríguez, Ma. G. Gluyas Millán, R.G. Hernández Valenzuela, Ma. del C. Fajardo-León, E. Morales-Bojórquez, J.A. Massó-Rojas, M.O. Muciño-Díaz, J.A. Vélez-Barajas y F. Caballero-Alegría, 2000. Caracol panocha In: Cisneros-Mata, M.A., L.F. Beléndez-Moreno, E. Zárate-Becerra, Ma. T. Gaspar-Dillanes, L. del C. López-González, C. Saucedo-Ruiz y J. Tovar-Avila (Eds.) Sustentabilidad y pesca responsable en México. Evaluación y Manejo 1999-2000. Instituto Nacional de la Pesca, México: 367-388.

Wilbur K.M. 1985. The Mollusca, Evolution Vol. (10), Department of Zool. Duke University, Durham, North Carolina, Editorial Academia Press. IND. Orlando USA, 32-37 p.

Wilbur, K.M. y G. Owen. 1964, Growth. Pages 211-242 in K.M. Wilbur y C.M. Yonge, editors. Physiology of Mollusca. Volume 1. Academic Press, New York, New York, USA.



# Edad y crecimiento del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en el Pacífico Ecuatoriano: Multimodelos bayesianos

## Age and growth of the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) in the Ecuadorian Pacific: Bayesian multi-models

Nicole Suárez-Aguilar, María Fernanda Zambrano-Cedeño,  
Jesús Briones-Mendoza

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Manabí, Ecuador

Correspondencia Nicole Suárez-Aguilar  [suareznicole19@gmail.com](mailto:suareznicole19@gmail.com)

Palabras clave |  
Edad,  
*Prionace glauca*,  
enfoque bayesiano,  
Océano Pacífico.

**RESUMEN** | El tiburón azul *Prionace glauca* desempeña un papel fundamental como depredador en los ecosistemas marinos, pero se ve amenazado por la captura incidental. Para obtener datos biológicos más precisos, se empleó un enfoque bayesiano y se analizaron 536 muestras de vértebras recolectadas durante un año en el desembarcadero llamado "Playita Mía" Manta, Ecuador., El objetivo fue estimar los parámetros de edad y crecimiento de la especie. Las tallas de los especímenes variaron entre 116 y 310 cm de longitud total (LT). Mediante el uso de un enfoque bayesiano basado en el método Markov Chain Monte Carlo (MCMC), se evaluaron los parámetros de crecimiento. El modelo de von Bertalanffy fue el que mejor se ajustó a los datos y proporcionó estimaciones más adecuadas (hembras:  $L_{\infty}=325.50$  cm,  $L_0=53.23$  cm y  $k=0.12$  años<sup>-1</sup>; machos:  $L_{\infty}=331.47$  cm,  $L_0=51.59$  cm,  $k=0.12$  año<sup>-1</sup>; sexos combinados:  $L_{\infty}=329.65$  cm,  $L_0=53.64$  cm,  $k=0.11$  año<sup>-1</sup>). Los resultados indicaron que hembras y machos presentan un crecimiento similar y que la especie tiene un crecimiento lento. Se sugiere realizar estudios adicionales utilizando enfoques bayesianos multimodelos y que abarquen un rango más amplio de tamaños en el Océano Pacífico. Estos estudios proporcionarán información crucial para la gestión y conservación de esta especie.

Keywords |  
Age,  
*Prionace glauca*,  
Bayesian approach,  
Pacific Ocean.

**ABSTRACT** | The blue shark *Prionace glauca* plays a critical role as a predator in marine ecosystems but is threatened by bycatch. To obtain more precise biological data, a Bayesian approach was used, and 536 vertebrae samples collected during one year at the landing stage called "Playita Mia" Manta, Ecuador, were analyzed. The objective was to estimate the age and growth parameters of the species. The sizes of the specimens varied between 116 and 310 cm in total length (TL). Using a Bayesian approach based on the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) method, growth parameters were evaluated. The von Bertalanffy model was the one that best fitted the data and provided more adequate estimates (females:  $L_{\infty}$  =325.50 cm,  $L_0$ =53.23 cm and  $k$ =0.12 years, males:  $L_{\infty}$ =331.47 cm,  $L_0$ =51.59 cm,  $k$ =0.12 years<sup>-1</sup>; combined sexes:  $L_{\infty}$ =329.65 cm,  $L_0$ =53.64 cm,  $k$ =0.11 year<sup>-1</sup>). The results indicated that females and males have a similar growth, and that the species has a slow growth. Further studies using multi-model Bayesian approaches and covering a broader range of sizes in the Pacific Ocean are suggested. These studies will provide crucial information for the management and conservation of this species.

## INTRODUCCIÓN

El tiburón azul (*Prionace glauca*) pertenece a la familia Carcharhinidae, es un gran tiburón pelágico oceánico, se distribuye globalmente en aguas templadas y tropicales en todos los océanos del mundo. Es una especie altamente migratoria que alcanza una longitud total (LT) mayor a 300 cm y se ha sugerido que pueden tener más de 380 cm de LT (Compagno, 1984; (Verissimo et al., 2017). Los tiburones son densoreguladores de las poblaciones de sus presas, manteniendo así el equilibrio en el ecosistema marino. Es un depredador tope activo que debido a su oportunismo diversifica su dieta de acuerdo con las fluctuaciones naturales de su ecosistema (Hernández Aguilar, 2008). Presenta una productividad alta gracias a su tasa de crecimiento (el coeficiente de crecimiento es de 0.16 año<sup>-1</sup> para sexos combinados), madurez sexual que abarca entre los 4 a 6 años y sus camadas numerosas que pueden tener en promedio 35 crías, con un periodo de gestación estimado de 12 meses (Fujinami et al., 2019; Furlong-Estrada et al., 2017). El apareamiento puede ser durante todo el año, sin embargo, se ha observado que en Baja California la mayor abundancia de hembras grávidas ocurra entre finales

de enero a abril (Méndez, 2005). En cuanto a su longevidad se han reportado individuos de *P. glauca* hasta de 25 años (Andrade et al., 2019; Mukherji et al., 2021).

Es capturado frecuentemente a nivel internacional mediante palangre y redes de enmalle utilizadas para especies de importancia comercial como los peces pelágicos (Wu et al., 2020). Los tiburones enganchados a menudo mueren durante la captura o poco después como resultado de lesiones físicas o estrés fisiológico. En la mayoría de las pesquerías los tiburones descartados no se notifican en las bitácoras de los pescadores, por lo tanto, su número, composición de especies y mortalidad por pesca asociada son poco conocidos (Jordaan et al., 2020). Por este motivo, se encuentra clasificado en casi amenazado dentro de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Rigby et al., 2019).

En el Puerto de Manta, los desembarques de tiburón azul se extienden durante todo el año y presenta mayor desembarque en los meses de abril, mayo y diciembre, siendo este último el mes el que tiene mayor incremento (Gómez-Zamora, 2016). En el país se ha estudiado de manera amplia aspectos biológicos del tiburón azul, especialmente aspectos reproductivos (Briones-Mendoza et al., 2016; Calle-Morán et al., 2016; Vélez-Tacuri & Carrera-Fernández, 2014). Aportar información biológica sobre la edad y el crecimiento de las especies resulta importante para conocer su historia de vida, los estudios estiman tasa de crecimiento, talla al nacer, longevidad y otros parámetros que resultan necesarios para conocer la condición de las poblaciones. Por otro lado, se debe considerar que estos trabajos investigativos tienen efectos de sesgos técnicos y de muestreo (Fujinami et al., 2019; Mas Bervejillo, 2015). El presente estudio se centra en abordar la falta de investigaciones e información actualizada sobre *P. glauca*. El objetivo principal de este trabajo consistió en realizar una estimación de la edad de los individuos de *P. glauca* mediante el análisis de lecturas de bandas en las vértebras. Además, se buscó determinar la curva de crecimiento que mejor se ajustó a los datos recopilados, utilizando un enfoque robusto de multimodelos bayesianos al obtener estimaciones más precisas y confiables que los multimodelos de crecimiento frecuentistas (Smart et al., 2021).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo

Se llevaron a cabo muestreos en el puerto pesquero artesanal de Playita Mía, ubicado en Manta, Ecuador (Fig. 1). Durante un período de abril de 2022 a marzo de 2023, se realizaron salidas de campo cinco veces a la semana. Durante estas salidas, se tomaron diversas medidas morfométricas a los tiburones, que incluyeron longitud total (LT), longitud precaudal (LPC), longitud interdorsal (LID) y longitud del clasper (LC). Estas medidas se registraron utilizando una cinta métrica graduada en centímetros.

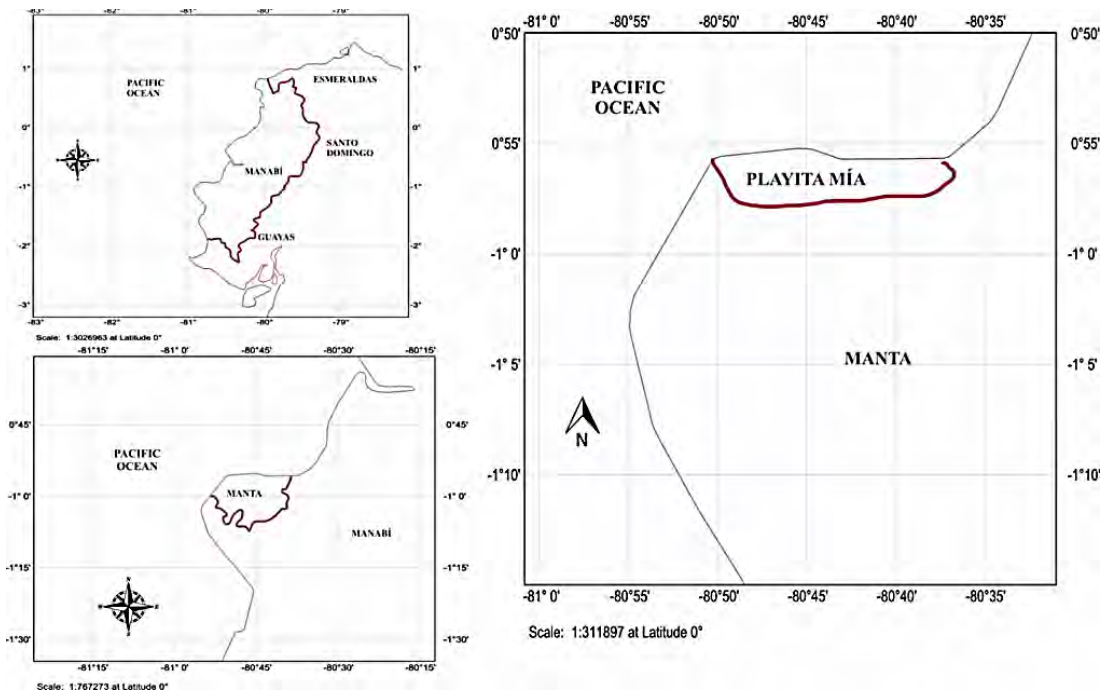


Figura 1. Mapa del área de recolección de muestras en el Pacífico ecuatoriano.

## Procesamiento de las vertebras

Se extrajeron las vértebras de la región cervical del tiburón y se almacenaron en un congelador. Posteriormente, se descongelaron y se eliminaron los arcos hemales, neurales y restos de tejido utilizando un cuchillo y un bisturí. Para facilitar la limpieza, las vértebras se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 5% (Cailliet & Goldman, 2004) y luego se enjuagaron con agua del grifo. Después de esto, se dejaron secar al aire libre durante un día. Para llevar a cabo el análisis, se realizaron cortes sagitales de aproximadamente 0.3-0.4-0.5 mm utilizando una cortadora IsoMet de baja velocidad equipada con una doble cuchilla de diamante. Tanto los cortes como las vértebras completas se tiñeron con nitrato de plata al 1% y se expusieron a luz ultravioleta durante aproximadamente 1 minuto (Fig. 2).

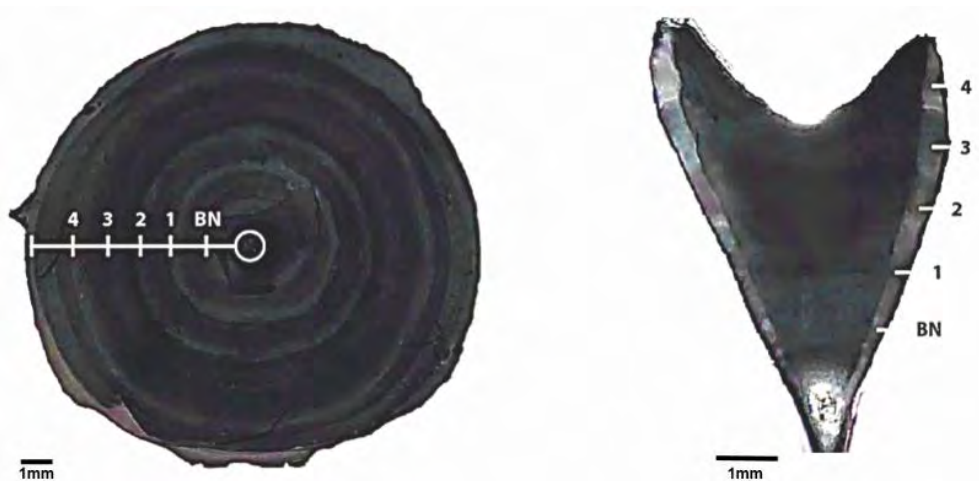


Figura 2. Vértebra a) entera y b) seccionada de un individuo macho de *P. glauca* de 200 cm LT con una edad estimada de 4 años. BN: banda de nacimiento, R: radio de la vértebra.

## Determinación y validación de la edad

La edad de los tiburones se determinó mediante la observación y conteo de las bandas opacas y traslúcidas presentes en las vértebras (Cailliet & Goldman, 2004). El conteo fue llevado a cabo por dos lectores de forma simultánea. Si ambos lectores coincidían en sus lecturas, se aceptaba la edad determinada. Caso

contrario, se llegaba a un acuerdo entre los dos lectores (D'Alberto *et al.*, 2016). En situaciones en las que no se podía llegar a un consenso, se excluía la muestra correspondiente (Grant *et al.*, 2018). Para realizar el conteo de las bandas, se utilizó un microscopio digital con una cámara integrada. Posteriormente, mediante el programa ImageJ, se midió el radio de la vértebra y de cada una de las bandas, desde el centro de la vértebra hasta el borde de cada banda. Además, se aplicó el análisis de incremento marginal relativo (MIR) para verificar la periodicidad de la formación de las bandas de crecimiento.

$$\text{MIR} = \frac{(CR - CR_n)}{(CR_n - CR_{n-1})}$$

Se realizó un análisis en el cual se evaluó la relación entre el radio de la vértebra (CR), el radio de la última banda (CR<sub>n</sub>) y el radio de la penúltima banda (CR<sub>n-1</sub>). Al incluir a todos los individuos muestreados en este análisis, no se encontró ningún patrón discernible. Por lo tanto, se adoptó la metodología utilizada por Simpfendorfer, (1993) en un estudio sobre la edad y crecimiento del tiburón cazón picudo australiano (*Rhizoprionodon taylori*).

### Precisión y sesgo entre lectores

Para evaluar la precisión, se calculó el porcentaje de acuerdo entre lectores (PA), utilizando la siguiente expresión (Goldman, 2005):

$$PA = \frac{\text{Número de acuerdos}}{\text{Número de vértebras leídas}} * 100$$

Se estimó el error porcentual promedio (APE, por sus siglas en inglés) (Beamish *et al.*, 1981):

$$APE = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)}{X_j} * 100$$

El coeficiente de variación (CV) también se calculó para evaluar la precisión (Campana *et al.*, 1995; Chang & Sciences, 1982):

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} \times 100$$

Se utilizaron diferentes variables en el análisis de la edad de los tiburones. Se emplearon las siguientes variables: R, que representa el número de veces que se calculó la edad del tiburón;  $X_j$ , que corresponde a la edad promedio calculada para el tiburón j-ésimo; y  $X_{ij}$ , que representa la i-ésima edad calculada para el tiburón j-ésimo. Para evaluar si existía algún sesgo sistemático entre las lecturas de los dos lectores, se utilizó la prueba de simetría de Bowker (Hoenig et al., 1995). Además, se examinó visualmente el sesgo entre los lectores mediante un gráfico propuesto por Campana, (1995). Todos los análisis relacionados con la precisión y el sesgo se llevaron a cabo utilizando el paquete FSA (Ogle et al., 2017) en el lenguaje de programación R (R Team, 2021).

## Modelos de crecimiento

Al igual que en investigaciones previas (Emmons et al., 2021; Smart & Grammer, 2021) se emplearon dos enfoques para estimar los parámetros de edad y crecimiento. En primer lugar, se aplicó un enfoque multimodelo bayesiano a través del paquete BayesGrowth (Smart, 2020; Smart & Grammer, 2021). En segundo lugar, se utilizó un enfoque multimodelo frecuentista utilizando el paquete AquaticLifeHistory (Smart, 2019; Smart et al., 2016) para realizar comparaciones entre modelos, se deja claro que el enfoque principal son multimodelos bayesianos. Los modelos utilizados en este estudio fueron los siguientes: Modelo de crecimiento de von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1938):

$$L_a = L_0 + (L_\infty - L_0)(1 - e^{(-Kt)})$$

Modelo logístico (Ricker, 1979):

$$L(t) = \frac{L_\infty L_0 (\exp(gt))}{L_\infty + L_0 (\exp(gt) - 1)}$$

Modelo de Gompertz (Gompertz, 1825):

$$L_a = L_0 e^{\log\left(\frac{L_\infty}{L_0}\right)} (1 - e^{(-kt)})$$

Donde  $L_{(t)}$  es la longitud esperada a una determinada edad,  $L_\infty$  es la longitud asintótica,  $k$  y  $g$  son los coeficientes de crecimiento y  $L_0$  es la longitud al nacer. En los modelos bayesianos, se utilizó el criterio de información de exclusión (LOOIC, por sus siglas en inglés) (Smart, 2020; Smart & Grammer, 2021).

## RESULTADOS

Características de la muestra:

Se registraron 700 datos, de los cuales se recolectaron 536 con muestras de vértebras de *P. glauca*, que constaban de 295 hembras y 241 machos con tamaños que oscilaban entre 116 - 274 cm LT (media  $\pm$  SD: 196.01  $\pm$  26.73) y 140 - 310.2 cm LT (media  $\pm$  SD: 221.45  $\pm$  32.24) respectivamente. Las edades estimadas comprendieron entre 3 y 18 años, con rangos de edad para hembras entre 3 y 13 años y para machos entre 4 y 18 años.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov demostró que no hay normalidad en la distribución de tallas (p-valor < 0.05). Con la prueba de Levene se verificó que no hay homogeneidad de varianzas entre sexos (p-valor < 0.05). La prueba de U Mann-Whitney mostró que existen diferencias significativas entre sexos (p-valor < 0.05). Por otra parte, se evidenció que existe diferencias representativas entre la longitud total de los meses (Kruskal-Wallis, p-valor = 0.02).

Estimación de edad y análisis de precisión

Se presentó un porcentaje de concordancia (PA $\pm$ 1 año) entre lectores del 79,10%. El error porcentual promedio (APE) fue de 1,59%, y el coeficiente de variación (CV) de 2.25%, que estuvo dentro del rango estimado por Campana (2001). Existieron diferencias significativas entre las lecturas (prueba de simetría de

Bowker, d.f.=15,  $\chi^2=28.08$ ,  $P=0.02$ ). El gráfico de sesgo de edad (Fig. 3) revela una concordancia con sesgo sistemático.

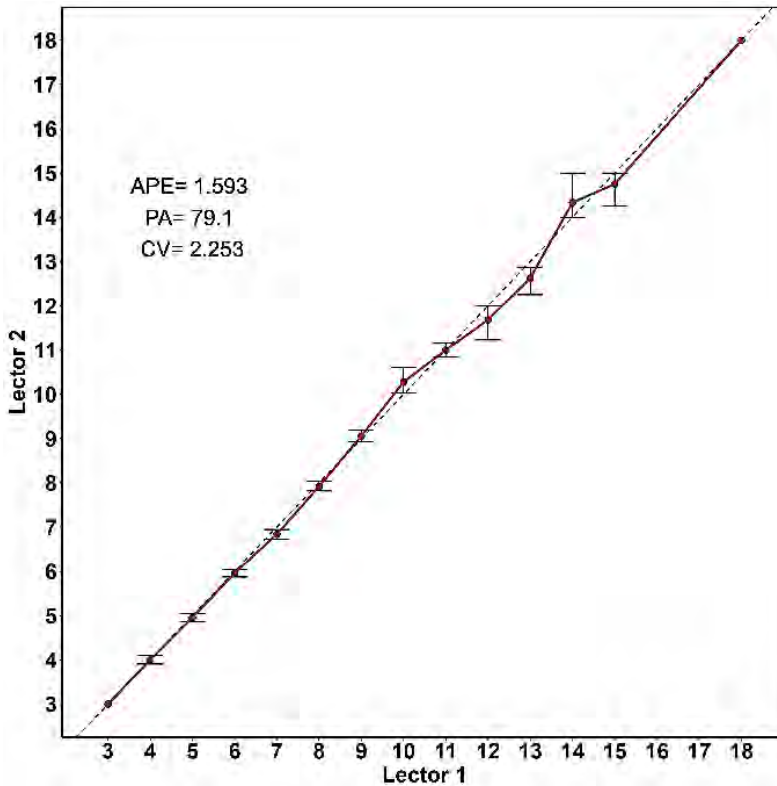


Figura 3. Gráfica de sesgo de edad para 536 P. glauca con acuerdos específicos de edad entre dos lectores independientes.

#### Verificación de la deposición de las bandas de crecimiento:

Se obtuvieron muestras de todos los meses para la verificación. El incremento marginal (MIR) presentó su punto más bajo en el mes de abril, y la prueba de Kruskal-Wallis demostró que existen diferencias significativas entre el incremento marginal de los meses ( $p$ -valor=0.1377) (Fig. 4). Los bordes translúcidos predominaron en los primeros meses del año, mientras que en julio los bordes opacos tuvieron mayor frecuencia (Fig. 5).

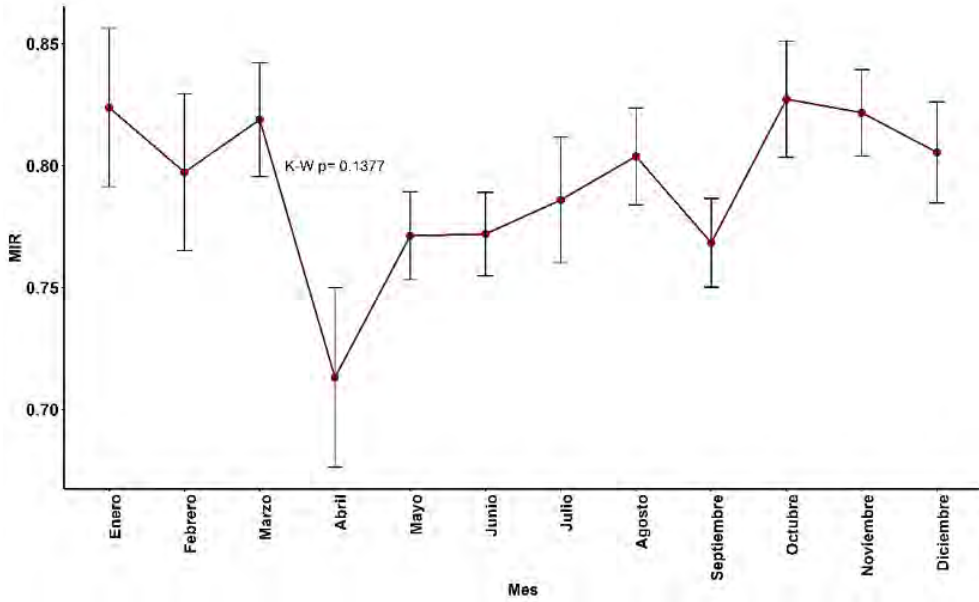


Figura 4. Valores promedio del incremento marginal por mes de *P. glauca*.

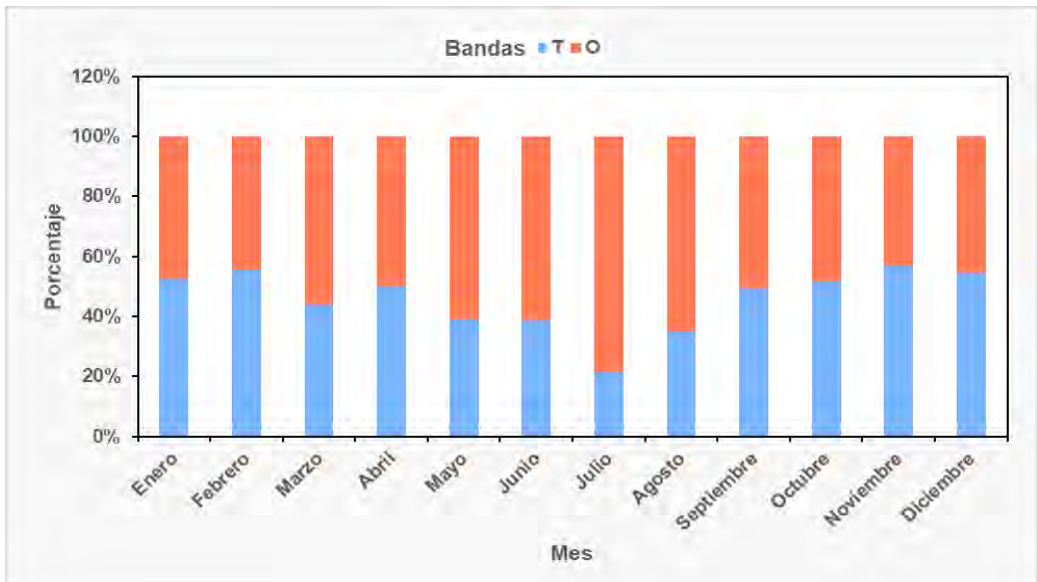


Figura 5. Porcentaje de bordes traslúcidos y opacas en *P. glauca* durante un año.

## Modelos de crecimiento

El modelo de crecimiento de von Bertalanfy se ajustó mejor a los datos de talla por edad observados para *P. glauca*, según el criterio de información LOOIC (Tabla 1) por lo que se consideró el modelo con el mejor ajuste (Fig. 6). Los valores presentados en el parámetro de talla al nacer ( $L_0$ ) para hembras, machos y sexos combinados se encontraron dentro del rango conocido (Tabla 2). La longitud asintótica ( $L_\infty$ ) estimada para hembras, machos y sexos combinados fueron aproximadas a las informadas en estudios previos. De la misma manera, las estimaciones de la tasa de crecimiento estuvieron dentro de los rangos reportados por otros autores, mostrando un crecimiento lento para la especie. Las curvas de crecimiento presentadas coincidieron con estudios anteriores de otras partes del mundo (Fig. 7).

Tabla 1. Validación cruzada 'Leave One Out' (LOO) y resultados del criterio de información para machos, hembras y sexo combinado *Prionace glauca*.

Datos	Modelo	Estimación LOOIC	Error estándar (SE) LOOIC	LOOICw
Sexos combinados	VBGF	4402.402	33.24553	1
	Gompertz	4426.904	33.67952	0
	Logistic	4454.301	33.90244	0
Hembras	VBGF	2444.757	25.16563	1
	Gompertz	2459.571	25.21652	0
	Logistic	2473.268	24.98264	0
Machos	VBGF	1958.519	21.93734	1
	Gompertz	1972.333	22.18009	0
	Logistic	1992.596	22.62065	0



Tabla 2. Estimaciones de parámetros de crecimiento por el modelo de von Bertalanffy para *P. glauca*, generadas utilizando el enfoque bayesiano. Donde  $\sigma$  =sigma,  $L_{\infty}$  =longitud asintótica (mm),  $L_0$ =longitud a la edad 0 (cm) y k=coeficiente de crecimiento para el modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

Datos	Parámetros	Media	SE de la media
Sexos combinados	$L_{\infty}$	329.65	0.09
	k	0.11	0.00
	$L_0$	53.64	0.03
	$\sigma$	14.58	0.00
Hembras	$L_{\infty}$	325.50	0.13
	k	0.12	0.00
	$L_0$	53.23	0.03
	$\sigma$	15.01	0.01
Machos	$L_{\infty}$	331.47	0.09
	k	0.12	0.00
	$L_0$	51.59	0.03
	$\sigma$	14.03	0.01

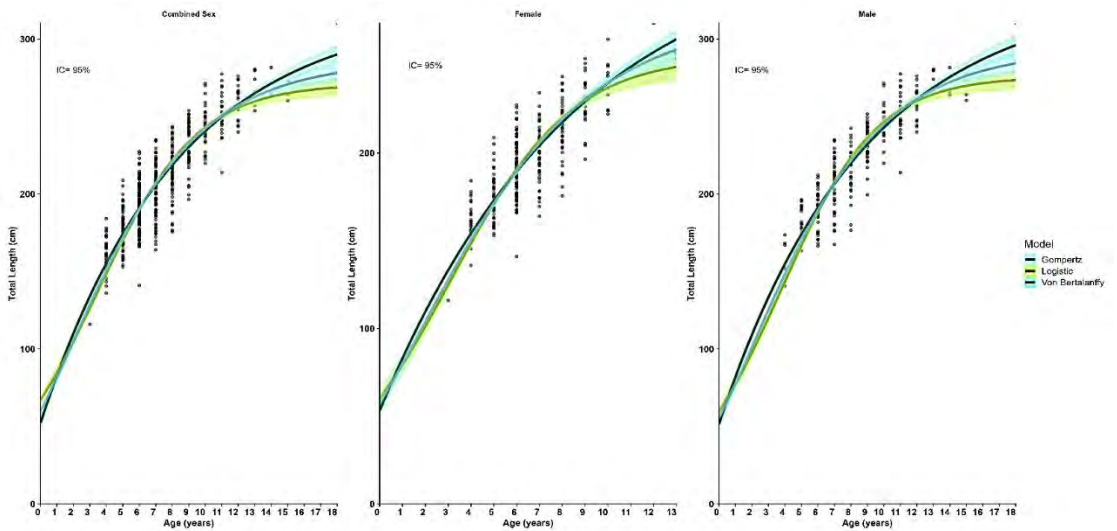


Figura 6. Modelos de crecimiento de talla por edad: von Bertalanffy (VBGF), Gompertz y Logístico para *P. glauca* (n = 536). (A) Sexos combinados, (B) Hembras y (C) Machos.

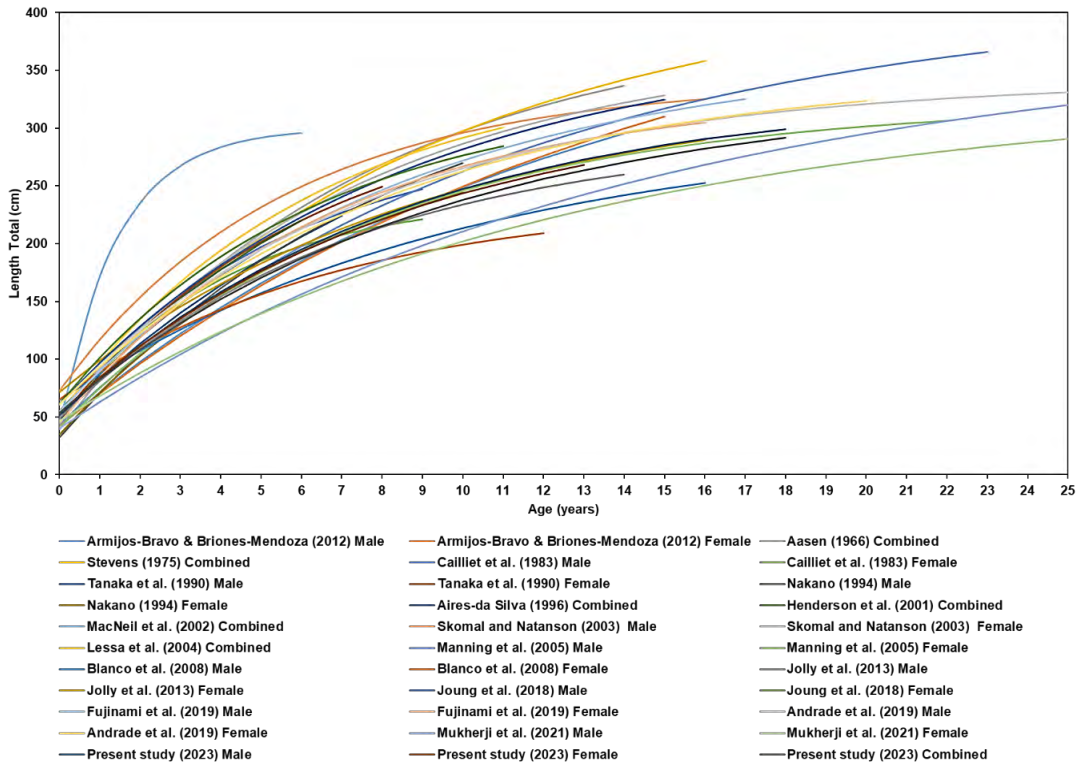


Figura 7. Comparación entre las curvas de crecimiento de von Bertalanffy para *P. glauca* estimadas por estudios anteriores y el presente estudio.

## DISCUSIÓN

En el presente estudio se muestran nuevas curvas de crecimiento para hembras, machos y sexos combinados con un enfoque bayesiano para *P. glauca*, siendo el primero en el Océano Pacífico Sur. La edad máxima reportada fue de 18 años, menor a la edad observada en los estudios de Andrade et al., (2019) y Mukherji et al., (2021), pero mayor que otros estudios de los últimos años (Tabla 3). Se conoce que las vértebras de *P. glauca* presentan dificultad en las lecturas debido al poco contraste entre las bandas de crecimiento (Manning & Francis, 2005; Skomal & Natanson, 2003). Presentar un alto rechazo en muestras muy pequeñas puede significar un problema relevante al estimar la edad, sin embargo,

en este estudio los ejemplares descartados fueron muy bajos considerando el tamaño de la muestra. El uso de nitrato de plata como método de tinción se propone como una buena alternativa para mejorar la observación de los anillos de crecimiento. Se ha reportado por MacNeil y Campana (2002) que las estimaciones de precisión (CV) de los centros completos fueron ligeramente mayores (7,7 %) que los centros seccionados (5,9 %). En este trabajo se realizó la lectura de bandas en centros vertebrales completos y secciones para corroborar la estimación de la edad, especialmente en individuos de tallas grandes donde se conoce que el ancho de las bandas más recientes disminuye provocando una sobrestimación en la lectura (Cailliet *et al.*, 1983).

Para estudios de historia de vida se ha recomendado previamente que los análisis de coeficiente de variación (CV) y APE, sean inferiores a 7.6% y 5.5% respectivamente (Campana, 2001). A pesar de que la mayoría de los estudios en tiburones presentan valores superiores que los indicados, en esta ocasión los valores expuestos son inferiores. Por otra parte, la verificación de la deposición de los anillos de crecimiento se ha respaldado en estudios preliminares con la inyección de marcadores químicos como oxitetraciclina (OTC) (Skomal & Natanson, 2003; Spear *et al.*, 2012), radio carbono (Romanov *et al.*, 2011) y, técnicas como el incremento marginal y análisis de bordes para demostrar la formación de bandas anuales (Cailliet & Goldman, 2004; Goldman, 2005; Lessa *et al.*, 2004). Por lo tanto, considerando que el pico más bajo del porcentaje de la banda traslúcida fue en julio, se presume que la banda clara se termina de formar en septiembre, donde el incremento marginal presenta su segundo pico más bajo. Las estimaciones de los parámetros de crecimiento de *P. glauca* difirieron en algunos casos con otras investigaciones. El valor de la tasa de crecimiento presentada ( $k=0.12$  hembras,  $k=0.12$  machos y  $k=0.11$  sexos combinados) fue similar al valor reportado por varios autores en el Océano Atlántico y Pacífico. Por otro lado, se muestra un crecimiento más rápido en comparación con el estudio de Briones-Mendoza y Armijos-Bravo (2012) y, de Mukherji *et al.*, (2021). La talla mínima reportada en el presente estudio fue de 116 cm LT de una hembra, mientras que, la talla máxima fue de 310 cm LT de un macho. Fujinami *et al.*, (2019) reportaron que los tiburones azules machos crecen más que las hembras, y que la diferencia en su crecimiento se debe a que las hembras ocupan más energía en el periodo de reproducción.

Sin embargo, los resultados presentados muestran que hembras y machos crecen por igual y que en conjunto su crecimiento es más lento. Esto se puede atribuir que en el estudio hubo una diferencia significativa entre las tallas por sexos. Por otra parte, la talla al nacer estimada (hembras: 53.23 cm, machos: 51.59 cm y sexos combinados: 53.64 cm) estuvo dentro del rango publicado por trabajos previos. Del mismo modo, las curvas de crecimiento realizadas en el presente estudio se encontraron dentro del rango de las expuestas por estudios de otras regiones (Fig. 8). La longitud asintótica estimada para machos fue mayor que la de hembras (hembras: 325.50 cm, machos: 331.47, y sexos combinados: 329.65), esto se puede atribuir a la falta de hembras con tallas grandes en la muestra. Además, se estimó una longitud asintótica menor en comparación con las registradas por otros autores, siendo la longitud asintótica de los machos muy inferior de la reportada por Mukherji et al., (2021).

Cabe recalcar que el estudio realizado por Mukherji et al., (2021) es el único publicado hasta el momento que presenta un enfoque bayesiano para *P. glauca*, sin embargo, se ha encontrado varias diferencias en la comparación de los resultados. Los individuos de edad 0 permiten delimitar el parámetro de talla al nacer ( $L_0$ ) y los individuos más grandes influyen en la talla asintótica ( $L_\infty$ ) por lo tanto, se presume que las diferencias con este estudio en particular se podrían deber a la presencia de tallas más grandes (340 cm LT) y la ausencia de tallas pequeñas (170 cm LT), en comparación con este trabajo que tuvo una talla máxima de 310 cm LT y tallas pequeñas, con una mínima de 116 cm LT registrada. Además, se obtuvo un tamaño de muestra más representativo (N=536), a diferencia de Mukherji et al., (2021) (N=81). En general, las discrepancias con otros estudios se podrían justificar por distintos factores, entre ellos, la dinámica de la población, el arte de pesca (Chin et al., 2013; Smart et al., 2015), las variadas técnicas, criterios, precisión y el sesgo entre los lectores (Nakano & Seki, 2003; Tanaka, 1990), además de las condiciones ambientales (Jolly et al., 2013). Sin embargo, este último no sería mayormente influyente considerando el hecho que *P. glauca* es una especie altamente migratoria y, que entre regiones no se ha evidenciado diferencias significativas de crecimiento.

Los estudios de edad y crecimiento a lo largo de los años se han realizado con un enfoque frecuentista, si bien funcionan cuando se tiene un rango de tallas amplio donde se incluye individuos pequeños y grandes, cuando se excluyen, las

curvas de crecimiento se ajustan a los datos de talla y edad disponibles, sin embargo, estas no describirían de forma correcta el crecimiento de la especie. El enfoque bayesiano incorpora conocimientos previos en los modelos de crecimiento, lo que permite crear antecedentes para  $L_0$  y  $L_\infty$  que se basan en la talla de nacimiento conocida y la longitud máxima de la especie, resultando eficaz cuando el enfoque frecuentista no pueden dar estimaciones apropiadas solo a partir de los datos observados (Smart & Grammer, 2021).

El estudio previo realizado en Ecuador por Briones-Mendoza y Armijos-Bravo (2012) tuvo un enfoque frecuentista, donde se observó una sobreestimación en la longitud asintótica (454 cm LT hembras, 418 cm LT machos) a pesar de tener una muestra significativa, y presentar un rango de tallas similar al presente estudio (136 cm - 307 cm LT). Por lo tanto, con los resultados se evidencia la efectividad del enfoque bayesiano y su potencial para tratar problemas de muestreo en los análisis de talla por edad.

En base a los resultados obtenidos se recomienda el manejo de mejores estrategias en relación con los métodos y técnicas a utilizar, que permitan obtener información más cercana a la realidad de la población de *P. glauca* sobre la edad y crecimiento. Se requieren más investigaciones que incluyan enfoques bayesianos con el paquete de "BayesGrowth" en R Studio para corroborar su efectividad en comparación de otras metodologías. Los estudios de edad y crecimiento son necesarios para la gestión pesquera, conocer la edad que tiene un individuo a una longitud determinada permite entender más sobre sus aspectos biológicos y su dinámica de población. Los modelos de crecimiento en *P. glauca* se han estimado con enfoques frecuentistas, en este estudio se demuestra que utilizando un enfoque bayesiano se puede obtener parámetros biológicos sin sobreestimaciones a pesar de tener datos deficientes en cuanto a rangos de tallas.

Tabla 3. Comparación de los parámetros de edad y crecimiento de *P. glauca* con estudios anteriores.

Source	Ocean	N	Sex	$L_{\infty}$	K	$t_0 / L_0$	Age Max	Size
(Aasen, 1966)	North Atlantic	-	Combined	394.0	0.13	-0.80	-	TL
(Stevens, 1975)	North Atlantic	82	Combined	423.0	0.11	-1.04	-	TL
(Cailliet et al., 1983)	North Pacific	38	Male	295.3	0.18	-1.11	9	TL
(Cailliet et al., 1983)	North Pacific	88	Female	241.9	0.25	-0.80	9	TL
(Tanaka et al., 1990)	North Pacific	43	Male	394.99	0.10	-1.38	7	TL
(Tanaka et al., 1990)	North Pacific	152	Female	326.72	0.16	-1.01	8	TL
(Nakano, 1994)	North Pacific	148	Male	371.73	0.12	-0.76	10	TL
(Nakano, 1994)	North Pacific	123	Female	313.07	0.14	-0.84	10	TL
(Aires-da-Silva, 1996)	Atlantic	308	Combined	340.0	0.14	-1.08	5	TL
(Henderson et al., 2001)	North Atlantic	30	Combined	376.5	0.12	-1.33	6	TL
(MacNeil & Campana, 2002)	North Atlantic	185	Combined	300.0	0.68	-0.25	8	TL
(Skomal & Natanson, 2003)	North Atlantic	287	Male	339.93	0.18	-1.35	16	TL
(Skomal & Natanson, 2003)	North Atlantic	119	Female	374	0.13	-1.17	15	TL
(Lessa et al., 2004)	South Atlantic	236	Combined	352.0	0.16	-1.01	11	TL
(Manning & Francis, 2005)	Pacific	140	Male	412.38	0.09	-1.25	23	TL
	Pacific	288	Female	322.24	0.13	-1.04	22	TL
(Manning & Francis, 2005)								
(Parra et al., 2008)	Central Pacific	122	Male	299.9	0.10	-2.44	16	TL
Blanco et al. (2008)	Central Pacific	62	Female	237.5	0.15	-2.15	12	TL
(Briones-Mendoza & Armijos-Bravo, 2012)	South Pacific	297	Male	418	0.08	-1.32	15	TL
(Briones-Mendoza & Armijos-Bravo, 2012)	South Pacific	280	Female	454	0.07	-1.39	14	TL
(Jolly et al., 2013)	South Atlantic	113	Male	294.6	0.14	-1.3	14	TL
(Jolly et al., 2013)	South Atlantic	84	Female	334.7	0.11	-2.19	16	TL
(Joung et al., 2018)	South Pacific	173	Male	376.6	0.12	-1.48	15	TL
(Joung et al., 2018)	South Pacific	83	Females	330.4	0.16	-1.29	11	TL
(Fujinami et al., 2019)	North Pacific	659	Male	365.7	0.12	-1.35	17	TL
(Fujinami et al., 2019)	North Pacific	620	Female	330.6	0.15	-0.97	16	TL
(Andrade et al., 2019)	Indian Ocean	491	Male	341.7	0.13	62.00	25	TL
(Andrade et al., 2019)	Indian Ocean	327	Female	349.9	0.12	64.00	20	TL
(Mukherji et al., 2021)	Papua New Guinea	57	Male	379	0.07	45.00	25	TL
(Mukherji et al., 2021)	Papua New Guinea	24	Female	329.2	0.08	45.8	25	TL
Presente estudio (2023)	South Pacific	241	Male	331.47	0.12	51.59	18	TL
Presente estudio (2023)	South Pacific	295	Female	325.50	0.12	53.23	13	TL
Presente estudio (2023)	South Pacific	536	Combined	329.65	0.11	53.64	16	TL

## AGRADECIMIENTOS

Los autores muestran gratitud a todo el grupo de tesis de Life History, así mismo, al grupo de pescadores de Playita Mía - Los Esteros. De la misma manera, a la fundación colombiana para la investigación y conservación de tiburones y rayas SQUALUS.

## REFERENCIAS

Aasen, O. (1966). Blåhaien, *Prionace glauca* (Linnaeus), 1758.

Aires-da-Silva, A. (1996). Contribution to the knowledge of the age and growth of the blue shark, *Prionace glauca* (Carcharhinidae), in the North Atlantic. *Undergraduate Thesis of the Marine Biology and Fisheries Licenciatura Degree, Universidade do Algarve, Portugal.*

Andrade, I., Rosa, D., Muñoz-Lechuga, R., & Coelho, R. J. F. R. (2019). Age and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the Indian Ocean. *Fisheries Research*, 211, 238-246.

Beamish, R., Fournier, D. J. C. J. o. F., & Sciences, A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(8), 982-983.

Briones-Mendoza, J., & Armijos-Bravo, J. (2012). *Edad y crecimiento del tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) en la zona del Pacífico ecuatoriano.* Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí].

Briones-Mendoza, J., Pincay-Espinoza, J., Palma-Chávez, J., & Romero-Caicedo, A. J. R. m. d. b. (2016). Notas sobre la biología del tiburón azul *Prionace glauca* (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) en aguas ecuatorianas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(4), 1387-1390.

- Cailliet, G., & Goldman, K. J. C. P. B. R., FL. (2004). Age determination and validation in chondrichthyan fishes. In 'Biology of Sharks and Their Relatives'. (Eds JC Carrier, JA Musick and MR Heithaus.) pp. 399–447. 10, 9780203491317.
- Cailliet, G. M., Martin, L. K., Harvey, J. T., Kusher, D., & Welden, B. (1983). Preliminary studies on the age and growth of blue (*Prionace glauca*), common thresher (*Alopias vulpinus*), and shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) sharks from California waters. Proceedings International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, Sharks, ED Prince and LM Pulos, Eds., NOAA Tech. Rep. NMFS,
- Calle-Morán, M., Castro-Rendón, R., García-Arévalo, I., & Cucalón-Hidalgo, A. J. R. C. U. (2016). Revisión histórica de los estudios sobre la biología, ecología y toxicología del tiburón azul *Prionace glauca* en aguas del Pacífico ecuatoriano. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(19), 106-109.
- Campana, S. E., Annand, M. C., & McMillan, J. I. J. T. o. t. A. f. S. (1995). Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 124(1), 131-138.
- Campana, S. J. J. o. f. b. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59(2), 197-242.
- Compagno, L. (1984). FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. Hexanchiformes to Lamniformes.
- Chang, W. Y. J. C. J. o. F., & Sciences, A. (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(8), 1208-1210.
- Chin, A., Simpfendorfer, C., Tobin, A., Heupel, M. J. M., & Research, F. (2013). Validated age, growth and reproductive biology of *Carcharhinus melanopterus*, a widely distributed and exploited reef shark. *Marine and Freshwater Research*, 64(10), 965-975.



- D'Alberto, B. M., Chin, A., Smart, J. J., Baje, L., White, W. T., Simpfendorfer, C. A. J. M., & Research, F. (2016). Age, growth and maturity of oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*) from Papua New Guinea. *Marine and Freshwater Research*, 68(6), 1118-1129.
- Emmons, S. M., D'Alberto, B. M., Smart, J. J., Simpfendorfer, C. A. J. M., & Research, F. (2021). Age and growth of tiger shark (*Galeocerdo cuvier*) from Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 72(7), 950-963.
- Fujinami, Y., Semba, Y., & Tanaka, S. J. F. B. (2019). Age determination and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the western North Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, 117.
- Furlong-Estrada, E., Sosa-Nishizaki, Ó., & García-Rodríguez, E. J. C. P. (2017). Caracterización de la pesquería de tiburón azul (*Prionace glauca*) en el Pacífico Norte mexicano: un antecedente histórico. *Ciencia Pesquera*, 25(1), 15-25.
- Goldman, K. J. (2005). 6. Age and growth of elasmobranch fishes. In: Management techniques for elasmobranch fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*(474), 76.
- Gómez-Zamora, W. M. (2016). *Variación temporal en el desembarque de Peces Pelágicos grandes y tiburones de la Flota Palangrera Oceánica en Manta, Ecuador* Universidad de Guayaquil].
- Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*(115), 513-583.
- Grant, M. I., Smart, J. J., White, W. T., Chin, A., Baje, L., Simpfendorfer, C. A. J. M., & Research, F. (2018). Life history characteristics of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the central west Pacific. *Marine and Freshwater Research*, 69(4), 562-573.

- Henderson, A., Flannery, K., & Dunne, J. (2001). Observations on the biology and ecology of the blue shark in the North-east Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 58(5), 1347-1358.
- Hernández Aguilar, S. B. (2008). *Espectro trófico del tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur, México* Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas].
- Hoenig, J., Morgan, M., Brown, C. J. C. J. o. F., & Sciences, A. (1995). Analysing differences between two age determination methods by tests of symmetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(2), 364-368.
- Jolly, K., Da Silva, C., & Attwood, C. J. A. J. o. M. S. (2013). Age, growth and reproductive biology of the blue shark *Prionace glauca* in South African waters. *African Journal of Marine Science*, 35(1), 99-109.
- Jordaan, G. L., Santos, J., & Groeneveld, J. C. J. P. o. (2020). Shark discards in selective and mixed-species pelagic longline fisheries. *PLoS one*, 15(8), e0238595.
- Joung, S.-J., Lyu, G.-T., Hsu, H.-H., Liu, K.-M., & Wang, S.-B. (2018). Age and growth estimates of the blue shark *Prionace glauca* in the central South Pacific Ocean. *Marine and Freshwater Research*, 69(9), 1346-1354.
- Lessa, R., Santana, F. M., & Hazin, F. H. J. F. R. (2004). Age and growth of the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) off northeastern Brazil. *Fisheries Research*, 66(1), 19-30.
- MacNeil, M., & Campana, S. (2002). Comparison of Whole Sectioned Vertebrae for Determining the Age of Young Blue Shark (*Prionace glauca*). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 30.
- Manning, M., & Francis, M. (2005). Age and growth of blue shark (*Prionace glauca*) from the New Zealand Exclusive Economic Zone. *New Zealand Fisheries Assessment Report*, 26(2005), 52.

- Mas Bervejillo, F. (2015). *Esclerocronología del tiburón azul (Prionace glauca) en el Atlántico sudoccidental* Universidad de la República Oriental del Uruguay].
- Méndez, O. (2005). *Infracomunidades helmínticas del tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) de la costa occidental de Baja California Sur, México* Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas].
- Mukherji, S., Smart, J., D'Alberto, B., Baje, L., Chin, A., White, W., & Simpfendorfer, C. A. J. E. B. o. F. (2021). Preliminary age and growth estimates of the blue shark (*Prionace glauca*) from Papua New Guinea. *104*, 1163-1176.
- Nakano, H. (1994). Age, reproduction and migration of blue shark [*Prionace*] in the north Pacific ocean. *Bulletin-National Research Institute of Far Seas Fisheries (Japan)*.
- Nakano, H., & Seki, M. J. B.-F. R. A. J. (2003). Synopsis of biological data on the blue shark, *Prionace glauca* Linnaeus. *Bulletin-Fisheries Research Agency Japan, 2003*, 18-55.
- Ogle, D. H., Wheeler, P., & Dinno, A. (2017). FSA: fisheries stock analysis. *R package version 0.8, 17*, 636.
- Parra, M. d. P. B., Magaña, F. G., & Fariás, F. M. (2008). Age and growth of the blue shark, *Prionace glauca* Linnaeus, 1758, in the Northwest coast off Mexico. *Revista de biología marina y oceanografía, 43(3)*, 513-520.
- Ricker, W. (1979). Growth rates and models. *Fish physiology, 677-744*.
- Rigby, C., Barreto, R., Carlson, J., Fernando, D., Fordham, S., Francis, M., . . . Marshall, A. (2019). *Prionace glauca*. *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- Romanov, E., Campana, S., & Rabehagasoa, N. (2011). Bomb radiocarbon dating of the Indian Ocean blue shark *Prionace glauca*: a preliminary test of ageing accuracy. *IOTC working group report IOTC-2011-WPEB07-INF33*.

- Simpfendorfer, C. A. J. E. B. o. F. (1993). Age and growth of the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori*, from north Queensland, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 36, 233-241.
- Skomal, G. B., & Natanson, L. J. (2003). Age and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*, 101(3), 627-639.
- Smart, J. (2019). AquaticLifeHistory: Fisheries life history analysis using contemporary methods. *R package, vers. 0.0, 9000*.
- Smart, J. (2020). BayesGrowth: Estimate fish growth using MCMC analysis. *R package version 0.3. 0*.
- Smart, J., Chin, A., Tobin, A., Simpfendorfer, C., & White, W. J. A. J. o. M. S. (2015). Age and growth of the common blacktip shark *Carcharhinus limbatus* from Indonesia, incorporating an improved approach to comparing regional population growth rates. *African Journal of Marine Science*, 37(2), 177-188.
- Smart, J. J., Chin, A., Tobin, A. J., Simpfendorfer, C. A. J. F., & Fisheries. (2016). Multimodel approaches in shark and ray growth studies: strengths, weaknesses and the future. *Fish and Fisheries*, 17(4), 955-971.
- Smart, J. J., & Grammer, G. L. J. P. O. (2021). Modernising fish and shark growth curves with Bayesian length-at-age models. *PloS one*, 16(2), e0246734.
- Spear, N., Wells, R. D., & Kohin, S. (2012). Preliminary age validation of the blue shark (*Prionace glauca*) in the eastern Pacific Ocean. ISC Shark Working Group Workshop 28 May – 4 June, 2012. National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shizuoka, Japan.
- Stevens, J. (1975). Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca* L.). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 55(3), 657-665.

- Tanaka, S. (1990). Age and growth studies on the calcified structures of newborn sharks in laboratory aquaria using tetracycline. In: Pratt HL, Gruber SH, Taniuchi T (eds) Elasmobranchs as living resources: Advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. *Proceedings of the second United States-Japan workshop*, 189–202.
- Tanaka, S., Cailliet, G. M., & Yudin, K. G. (1990). Differences in growth of the blue shark, *Prionace glauca*: technique or population. *NOAA Tech. Rep. NMFS*, 90, 177-187.
- Team, R. C. (2021). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing; 2020. In.
- Vélez-Tacuri, J., & Carrera-Fernández, M. (2014). Fecundidad y proporción sexual embrionaria del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), en el Pacífico ecuatoriano.
- Verissimo, A., Sampaio, Í., McDowell, J. R., Alexandrino, P., Mucientes, G., Queiroz, N., . . . Evolution. (2017). World without borders—genetic population structure of a highly migratory marine predator, the blue shark (*Prionace glauca*). *Ecology and Evolution*, 7(13), 4768-4781.
- Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human biology*, 10(2), 181-213.
- Watanabe, Y. Y., Nakamura, I., & Chiang, W.-C. J. M. B. (2021). Behavioural thermoregulation linked to foraging in blue sharks. *Marine Biology*, 168(11), 161.
- Wu, F., Kindong, R., Dai, X., Sarr, O., Zhu, J., Tian, S., . . . Nsangue, B. T. J. J. o. F. B. (2020). Aspects of the reproductive biology of two pelagic sharks in the eastern Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 97(6), 1651-1661.

# Caracterización de los recursos pesqueros de la laguna de Tres Palos, Guerrero, México

## Characterization of the fishery resources of Lagoon Tres Palos, Guerrero, Mexico

Nidia Farrera-Toledo, Adriana Alatorre-Alba  
Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Prolongación Playa Abierta S/N,  
col: Miramar, C.P. 70680, Salina Cruz Oaxaca,  
México

Correspondencia Farrera-Toledo Nidia   [nidia.farrera@inapesca.gob.mx](mailto:nidia.farrera@inapesca.gob.mx)

Palabras clave |  
Tres Palos,  
Recursos Pesqueros,  
Calidad de Agua.

**RESUMEN** | El diagnóstico y caracterización de las pesquerías que sustentan a las localidades que se encuentran en la ribera de la laguna Tres Palos, Guerrero permitirá proponer medidas de manejo y aprovechamiento responsable de los recursos pesqueros que son aprovechados por las flotas que operan en la laguna, a su vez que se relaciona el comportamiento de las especies que se presentan en las capturas con parámetros ambientales que podrían estar influyendo en su distribución espacial y temporal. Para el análisis de las pesquerías se trabajó con los avisos de arribo reportados a las oficinas de CONAPESCA, a su vez que se obtuvieron biometrías y estudios de calidad de agua de las comunidades pesqueras más importantes de la laguna (El Arenal, El Quemado, Barra Vieja y San Pedro las Playas). Los parámetros obtenidos se capturaron en Excel, donde y se realizó un análisis descriptivo de las capturas registradas y los parámetros ambientales que influyen. De acuerdo al análisis de la información se encontraron 36 grupos, de los cuales los más abundantes son la tilapia con el 29.63%, lisa el 19.84%, popoyote con el 19.16% y el cuatete el 19.01%, el resto de las especies representó el 12.33% de la producción total del periodo analizado según datos registrados ante CONAPESCA (2005-2019), mientras que mediante los muestreos en campo realizados de febrero a agosto del 2021, se han observado 26 especies, de las cuales el popoyote es la especie más abundante con el 88%, seguido por la tilapia con el 5.83%. Los tipos de artes de pesca son variables, siendo las redes de enmalle de entre las 2 ½ "(6.35 cm) a

4"(10 cm) y atarrayas de 1" (2.54 cm) las que principalmente se emplean.

Así mismo, se estima que la laguna presenta una disminución parcial de salinidad debido al cierre de la boca barra durante el periodo de muestreo de marzo-agosto, dicha entrada es la única fuente de aporte de agua marina que posee la laguna y se observó que debido a los asentamientos de poblaciones pesquera y desarrollo turístico, presenta una mediana contaminación por descargas de aguas residuales que puede estar alterando las concentraciones de la salinidad.

Keywords |  
fishery recourses  
Tres palos

**ABSTRACT** | The characterization of the fisheries that support the localities that are found on the banks of the Tres Palos lagoon, Guerrero will allow proposing management measures and responsible use of the fishing resources that are used by the fleets that operate in the lagoon, to In turn, the behavior of the species that appear in the captures is related to environmental parameters that could be influencing their spatial and temporal distribution. For the analysis of the fisheries, we worked with the arrival notices reported to the CONAPESCA offices, in turn, obtaining biometrics and water quality studies of the most important fishing communities of the lagoon (El Arenal, El Quemado, Barra Vieja and San Pedro las Playas). The parameters obtained were captured in Excel, where a descriptive analysis of the recorded catches and the environmental parameters that influence them was carried out. According to the analysis of the information, 36 groups were found, of which the most abundant are tilapia with 29.63%, smooth 19.84%, popoyote with 19.16% and cuatete 19.01%, the rest of the species represented the 12.33% of the total production of the analyzed period according to data registered with CONAPESCA (2005-2019), while through field sampling carried out from February to August 2021, 26 species have been observed, of which the popoyote is the most abundant with 88%, followed by tilapia with 5.83%. The types of fishing gear are variable, being the gillnets of between 2 ½ "(6.35 cm) to 4" (10 cm) and cast nets of 1 "(2.54 cm) which are mainly used. Likewise, it is estimated that the lagoon presents a partial decrease in salinity due to the closure of the bar mouth during the sampling period of March-August, this entrance is the only source of contribution of seawater that the lagoon possesses and it was observed that due to

the settlements of fishing populations and tourist development, it presents a medium contamination by wastewater discharges that may be altering the concentrations of salinity

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras albergan una gran diversidad de organismos de origen acuático continental y marino adaptados a las variabilidades continuas entre masas de agua dulce y salada, lo que a su vez, las caracteriza por su elevada tasa de productividad y por ser áreas utilizadas para la protección, alimentación y reproducción de un gran número de especies, por lo que, muchas pesquerías litorales dependen de la conservación de este ecosistemas (Lara-Domínguez *et al.* 2014). La laguna de Tres Palos destaca por ser la de mayor extensión del Estado de Guerrero y debido a su cercanía con el puerto de Acapulco se ve favorecida tanto por la demanda de alimento fresco, como lo son las actividades pesqueras, como por el implemento de recorridos guiados por sus canales (Contreras-Espinosa y Castañeda, 2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La laguna de Tres Palos se localiza en la Costa Chica de Guerrero, entre las coordenadas 16° 13' latitud norte, 99° 09' longitud oeste y 16° 40' latitud norte, 99° 16' longitud oeste a 25 km al este de Acapulco y cuenta con una extensión de 5 220 ha de superficie (DOF, 2004). Los muestreos fueron bimensuales, durante los años 2021 y 2022, cubriendo con los muestreos del último año, los meses que no se muestrearon en el primero. Las localidades de muestreo fueron: San Pedro las Playas, El Quemado, Barra Vieja, Plan de los Amates y El Arenal. Se registraron biometrías de las principales especies presentes en las capturas, características de los equipos, operaciones de pesca, parámetros ambientales y de calidad de agua como son: temperatura, salinidad, PH, oxígeno, nitratos, nitritos entre otros.



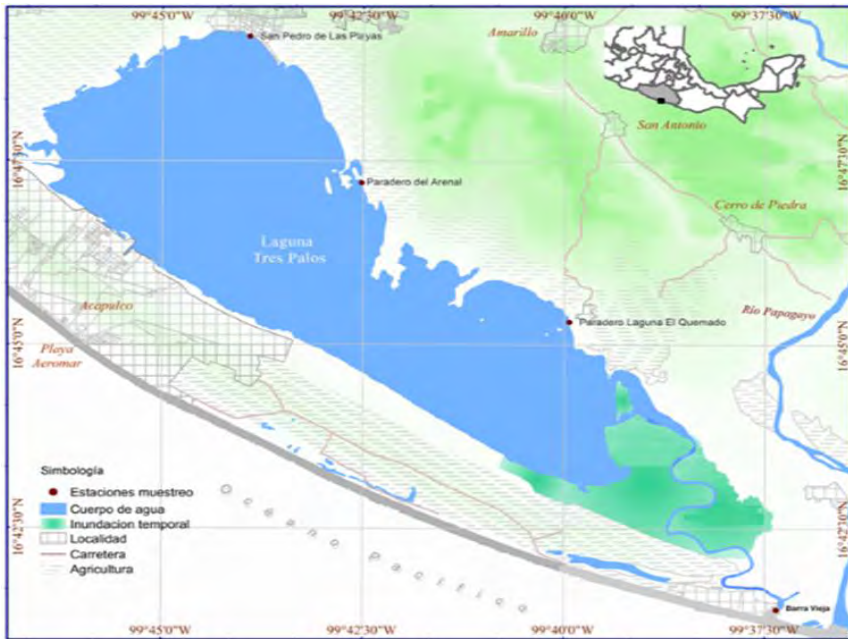


Figura 1. Laguna de tres Palos, Guerrero, México.

## RESULTADOS

De acuerdo al análisis de los registros oficiales reportados ante la oficina de pesca de Acapulco, se encontró que en la laguna Tres Palos operan 157 permisionarios y cooperativas pesqueras y 686 embarcaciones, los cuales tienen domicilio registrado en 23 localidades pesqueras: el 42 % desembarcan sus capturas en la localidad de San Pedro las Playas, 19.1% en El Arenal, 7.6 % en La Estación, Barra Vieja el 5.7 %, El Quemado el 4.5%, Tres Palos el 3.8 % y Plan de los Amates el 3.2% respectivamente.

Los registros oficiales muestran la presencia de 27 grupos, de los cuales los que sustentan las pesquerías en cuanto a peso desembarcado son: lisa, carpa (localmente se les denomina carpa a las diferentes especies de tilapias), cuatete, popoyote, charal, chacal o langostino, robalo, charra y pargo. Lo cual difiere en cuanto a orden de importancia según los muestreos en campo, donde se observó que predominaron la especies: *Dormitator latifrons* (popoyote) con 46.2%, seguido

por *Lile stolifera* (charal) con el 18.3%, *Oreochromis niloticus* (tilapia o carpa) con 9.8%, *Ariopsis guatemalensis* (cuatete) 7.7%, *Macrobrachium tenellum* 6.8%, *Penaeus vannamei* (camarón blanco) con 4%, *Centropomus nigrescens* (robalo) el 2.5%, *Mugil cephalus* (lisa) el 1.4% y *Centropomus robalito* (pijolin) con el 0.9%, y *Lutjanus colorado* con el 0.6%, mientras que el resto de las especies representó el 1.7% de los registros Figura 2.

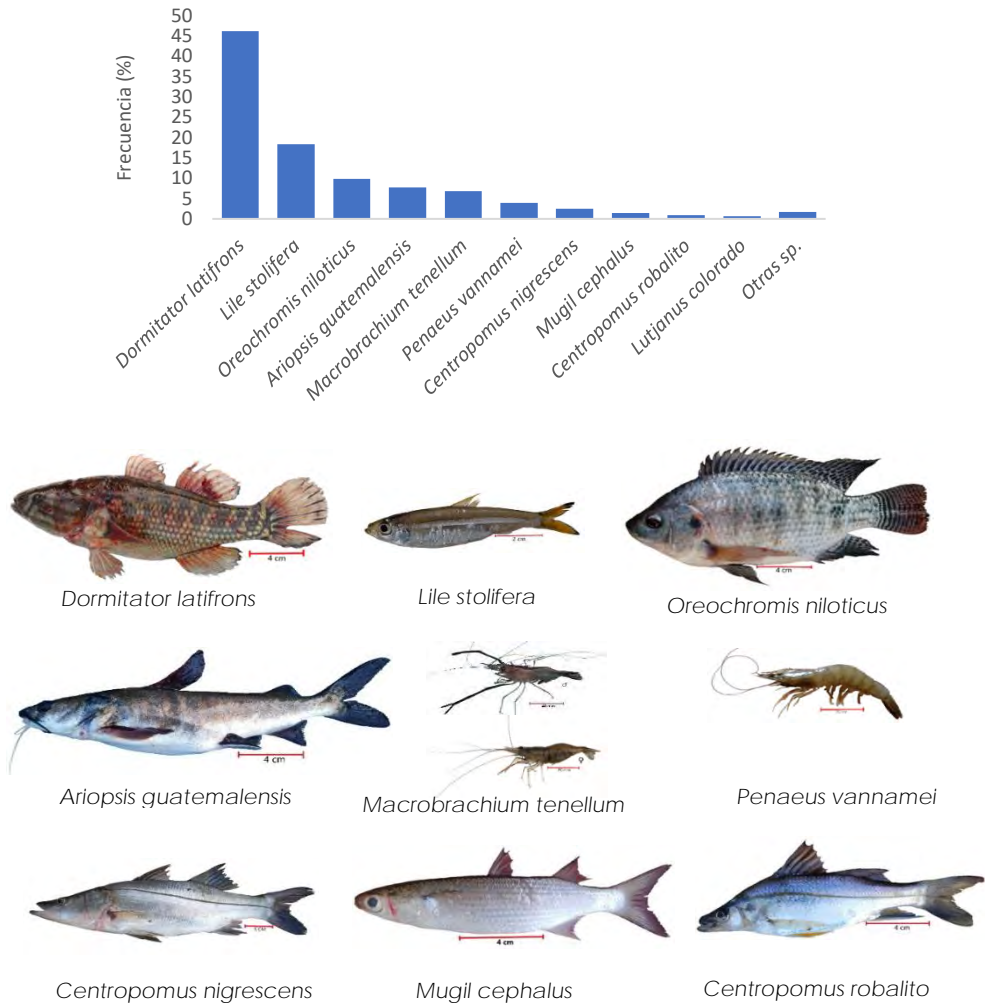


Figura 2. Abundancia de especies determinada a partir del peso desembarcado observado durante los muestreos en la laguna Tres Palos durante el 2021 y 2022.

Durante los muestreos en campo se identificaron 30 especies, de las cuales 18 son consideradas como objetivo (Tabla 1), al ser comunes y las de importancia comercial y 12 se consideran como asociadas (Tabla 2) ya que en algunas ocasiones se dejan para consumo personal e incluso algunas veces son desechadas.

Tabla 1. Especies objetivo

Nombre común	Nombre científico
Popoyote	<i>Dormitator latifrons</i>
Tilapia o carpa	<i>Oreochromis niloticus</i>
Tilapia o carpa	<i>Oreochromis mossambicus</i>
Cuatete	<i>Ariopsis guatemalensis</i>
Robalo	<i>Centropomus nigrescens</i>
Robalito	<i>Centropomus robalito</i>
Pargo rojo	<i>Lutjanus colorado</i>
Pargo negro	<i>Lutjanus novemfasciatus</i>
Huevina	<i>Gobiomorus maculatus</i>
Lisa	<i>Mugil cephalus</i>
Malacapa	<i>Diapterus brevirostris</i>
Charra	<i>Amphilophus trimaculatus</i>
Charal o Sardina	<i>Lile stolifera</i>
Chacal	<i>Macrobrachium tenellum</i>
Camarón blanco	<i>Penaeus vannamei</i>
Camarón de castilla	<i>Penaeus californiensis</i>
Jaiba	<i>Callinectes arcuatus</i>
Jaibon	<i>Callinectes toxotes</i>

Tabla 2. Especies asociadas

Nombre común	Nombre científico
Macabil	<i>Albula esuncula</i>
Anchoveta	<i>Anchoa lucida</i>
Sardinita	<i>Astyanax aeneus</i>
Pejerrey	<i>Atherinella guatemalensis</i>
Topote	<i>Poecilia sphenops</i>
Jurel	<i>Caranx sexfasciatus</i>
Alaguatate	<i>Eleotris picta</i>
Cola de gallo	<i>Gobionellus microdon</i>
Lisa	<i>Mugil hospes</i>
Lenguado	<i>Trinectes fonsecensis</i>
Cangrejo terrestre	<i>Cardisoma crassum</i>
Chacal	<i>Macrobrachium americanum</i>

Se observó el empleo de principalmente dos tipos de artes de pesca: redes de enmalle para escama (Figura 3), redes de enmalle para langostino y camarón (Figura 4) y atarrayas para camarón y langostino (Figura 5).

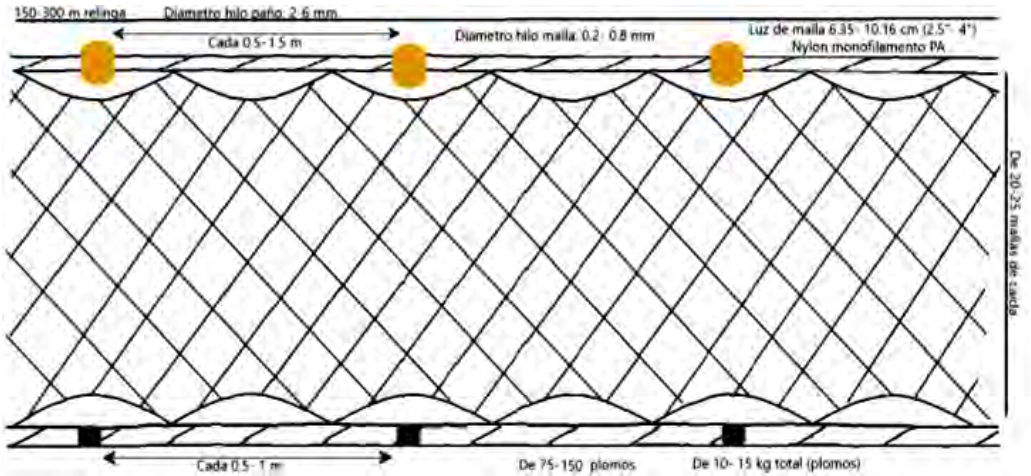


Figura 3. Red de enmalle empleada para escama.

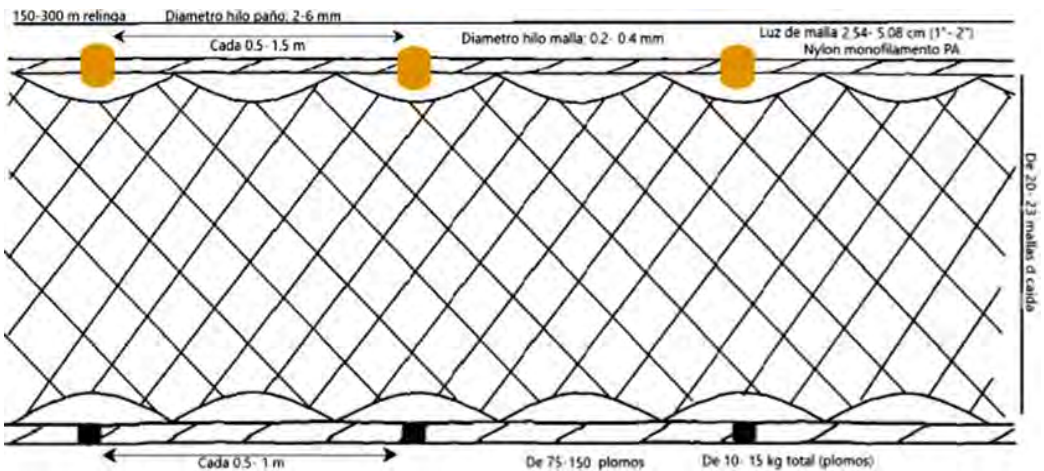


Figura 4. Red de enmalle empleada para camarón y langostino

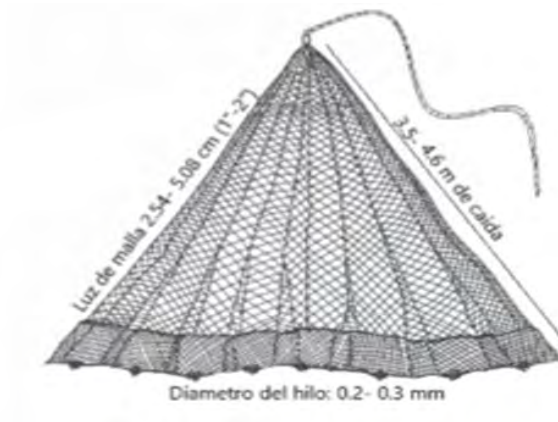


Figura 5. Atarraya (empleada para camarón y langostino).

Durante el 2021 y 2022, se pudo analizar algunos parámetros de calidad de agua y ambientales en los muestreos de las localidades, dichos resultados se encuentran en las tablas 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3. Representación de los parámetros de la calidad del agua y ambientales de la laguna de Tres Palos, Guerrero 2021.

PARAMETROS	Máximo	Promedio	Mínimo
Temperatura Ambiente °C	33	31.54	31.30
Transparencia. ( m)	0.19	0.17	0.11
Nitritos. ( mg/l)	0.27	0.10	0.01
Nitratos. ( mg /l)	5.05	3.89	3.19
Amonio ( mg /l)	1.69	1.38	1.23
Salinidad. (%)	3.24	1.92	0.25
Temperatura del Agua (°C)	31.15	30.16	29.69
pH	8.16	7.94	7.57
OD (mg/l)	6.52	3.52	2.19
Conductividad.(S/cm)	3999	3937.26	3925.34
Sol. Disueltos (mg/l)	1999.82	1998.61	1997.09

Tabla 4. Representación de los parámetros de la calidad del agua y ambientales de la laguna de Tres Palos, Guerrero 2022.

PARAMETROS	Máximo	Promedio	Mínimo
Temperatura ambiente. (°C)	33	32.46	31
Temperatura del agua(°C)	32.9	31.46	30.09
Profundidad (m)	6.2	3.32	1.5
OD (mg/l)	10.15	4.3	0.2
Salinidad (%)	1.5	0.4615	0
pH	8.8	8.41	8
Transparencia (m)	0.2	0.13	0.1

## DISCUSIÓN

De acuerdo a Gil- Guerrero *et al.*, 2008, dentro y fuera de los márgenes de la laguna Tres Palos se tiene el registro de 149 permisos de pesca, pertenecientes a 110 cooperativas, de las cuales 39 tenían doble permiso (escama y langostino), al mismo tiempo que Farrera-Toledo y Alatorre-Alba, 2020, encontraron que hasta el 2019 solamente 47 cooperativas o permisionarios reportaron capturas, los cuales tenían registro en 14 localidades. Ésta última información difiere mucho con lo encontrado en el presente estudio, donde también se trabajó con los reportes oficiales ante oficinas de pesca durante el 2021 y se establece que para éste año estuvieron vigentes 157 permisos de pesca y operaron 686 embarcaciones, las cuales desembarcaron sus capturas en 23 localidades pesqueras, siendo San Pedro las Playas la más importante con el 40.82% de los registros.

Así mismo Gil- Guerrero *et al.*, 2008, reporta 56 especies de peces y dos de crustáceos, de las cuales nueve son las que sustentan las pesquerías, mencionando en orden de importancia al charal (*L. stolifera*), popoyote (*D. latifrons*), cuatete (*A. guatemalensis*), tilapia (*O. niloticus*), lisa (*M. curema*), charra (*Cichlosoma trimaculatus*), actualmente nombrada (*Amphilophus trimaculatus*), robalo (*C. nigrescens*), huevina (*E. pictus*) según el autor, aunque en el presente estudio al organismos que localmente le llaman huevina se identificó como *Gobiomorus maculatus* y al *E. picta* le conocen como Alahuate y el robalo (*C. robalito*), mientras que Farrera-Toledo y Alatorre-Alba, 2020 encontraron diferencia de acuerdo al orden de abundancia reportado en registros oficiales, en primer

lugar se reporta a la tilapia, seguido por lisa, popoyote, cuatete, charal, chacal, robalo, carpa (este organismo para la región es lo mismo que tilapia) y pargo, a su vez que para el presente estudio de acuerdo al análisis de lo reportado en avisos de arriba se observan diferencias tanto en lo reportado por los autores antes mencionados como con lo observado durante muestreos en campo, ya que según orden de importancia de acuerdo a registros oficiales, durante el 2021 se encontró que la lisa fue la más abundante con el 27.81 %, seguido por la tilapia o regionalmente llamadas carpas con el 27.07 %, el cuatete el 20.34 %, popoyote el 12.06 %, charal 5.957 %, chacal o langostino el 4.41 %, robalos el 1.64 %, charra el 0.31% y pargos el 0.14, al mismo tiempo que de acuerdo a lo observado durante recorridos por las principales localidades pesqueras, se observaron diferencias en cuanto a especies y orden de importancia en las capturas desembarcadas, siendo principalmente el popoyote la especie que sustenta las pesquerías de la laguna, con el 45.51% de lo registrado, seguido por la tilapia con el 14.27 %, el camarón blanco 9.14 %, el chacal el 9.14 %, cuatete el 6.71 %, robalo (*C. nigrescens*), la chara el 2.76 %, la lisa (*M. curema*) el 2.26 % y la huevina (*G. maculatus*).

En cuanto al empleo de artes de pesca se encontró una gran diferencia en cuanto a características de redes de enmalle, sobre todo en las medidas de luz de malla, siendo la de 6.35 cm (2 ½") la más utilizada y en la que se presentan principalmente la mayoría de las especies de peces capturadas en la laguna Tres Palos (popoyote, ambas especies de tilapias identificadas, el cuatete, la charra y la huevina), difiriendo únicamente el robalo, que fue más abundantes en redes de 7.62 cm (3") de luz de malla y la lisa en redes con luz de malla de 5.71 cm (2 ¼"), resaltando el hecho de que las especies dominantes en redes de 6.35 cm son las más abundantes en San Pedro las Playas al igual que la lisa, mientras que el robalo se captura principalmente en Barra Vieja. Así mismo cuando las capturas se dirigen a camarón blanco se emplean redes de 4.13 cm de luz de malla siendo San Pedro las Playas la localidad pesquera donde se desembarca con mayor frecuencia y para langostino se observó que se utiliza principalmente atarrayas con la luz de malla de 1.2 y 1 cm y su captura da con mayor frecuencia en la localidad pesquera de El Quemado.

En estudios realizados de calidad de agua de la laguna de Tres palos se obtuvo una salinidad, temperatura y oxígeno disuelto promedio, que permanecieron similares en las estaciones de muestreos. Teniendo como resultados de salinidad oligohalina (2–4 ups), temperaturas (28–31°C), con sobresaturación superficial y condiciones de hipoxia o anoxia en el fondo, trabajo realizado en el 2003 para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos (De la Lanza Espino, 2003).

Mendoza M. 2013 en su trabajo de la caracterización de las lagunas costeras (Chautengo y Tres Palos) del Pacífico Tropical Mexicano sobre el contenido de carbono y la captura y emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, los resultados obtenidos de calidad de agua de la laguna de Tres Palos en su investigación fueron las siguientes: salinidad 0.6% ± 1.7% pH 8.8 ± 0.6 temperatura 30.5 ± 1.1 en la superficie y en el fondo la salinidad fue 0.8% ± 2.2%, pH 8.7 ± 0.6 y temperatura 30.4 ± 1.1 (Mendoza Mojica, 2013)

## CONCLUSIONES

De acuerdo a registros oficiales, se reportan capturas de 27 grupos de organismos según nombres comunes (en algunos grupos se incluyen más de una especie), mientras que durante los muestreos se identificaron 30 especies. Según reportes oficiales, la lisa es la especie que sustenta las pesquerías en la laguna, lo cual difiere con lo observado en muestreos, donde el popoyote es la especie dominante y la lisa se encuentra en el lugar número ocho de acuerdo a peso desembarcado. Con respecto a los parámetros de calidad de agua se observó de un año para el otro el aumento de la temperatura del agua, que puede ser un problema importante ya que es un factor que regula el sistema ecológico de la misma.

## Agradecimientos

Se agradece a todos los integrantes del sector pesqueros que integran las cooperativas de la laguna de Tres Palos que laboran en las comunidades pesqueras de Barra Vieja, Plan de los Amates, San Pedro de las Playas, El Quemado, El Arenal y la Estación, que nos facilitaron los medios necesarios para llevar a cabo los muestreos y con información importante de su actividad. De igual



manera a las mujeres que se dedican al comercio de los productos obtenidos de la pesca.

## REFERENCIAS

Contreras F. y Castañeda O. 2004. La biodiversidad de las lagunas costeras. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa. Área de Ecosistemas Costeros. 46-55 p.

De la Lanza Espino, G. (2003). Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México. *Hidrobiológica vol.18*, 21-30.

DOF 2004, Carta Nacional Pesquera, Ecosistemas Lagunares Costeros "Laguna Tres Palos" Guerrero, Quinta Sección, 15 de marzo 2004, 11 p.

Farrera- Toledo N. y Alatorre Alba A. Pesquerías Multiespecíficas artesanales ribereñas en lagunas costeras de Guerrero. Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Pacífico. CRIAP-SC INP. Informe de investigación 2020 (documento interno). 26 p.

Gil-Guerrero, J. S., Violante-González, J. y Rojas-Herrera, A. «La producción pesquera de 9 especies comerciales en la laguna de Tres Palos, Guerrero., México.» IV Foro Científico de Pesca Ribereña. Acapulco, Gro.: Instituto Nacional de Pesca, (2008 a). 43-44.

Lara- Domínguez A. L., Contreras-Espinosa F., Castañeda-López O., Barba- Macías E. y Pérez- Hernández M. A. 2011. en el libro: La Biodiversidad en Veracruz un estudio de estado (pp.297-313). Edición: 1ª. Carpeta: Lagunas costeras y estuarios. Editor: CONABIO.

Mendoza-Mojica M., Martínez-Arroyo A., Espinosa-Fuentes M de la L., Peralta-Rosales O. y Castro- Romero T. 2013. Caracterización de dos lagunas costeras del Pacífico tropical mexicano en relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 29, núm. 2, 2013, pp. 145-154.



# Sustentabilidad de explotación y acuicultura

# Efecto antioxidante de la astaxantina proveniente del hidrolizado de subproductos de camarón *Penaeus vannamei* sobre el estrés en tilapia de Nilo *Oreochromis niloticus*

Antioxidant effect of astaxanthin derived from hydrolysate shrimp by-products *Penaeus vannamei* on stress in Nile tilapia juveniles *Oreochromis niloticus*

Roxana Pillaca<sup>1</sup>, Jessie Vargas<sup>1</sup>,  
Verónica Sierralta<sup>1</sup>, Elsa Vega Galarza<sup>1</sup>,  
Cynthia Guerrero<sup>1</sup>, Iván Soto<sup>2</sup>,  
Javier Quino-Favero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina,  
Facultad de Pesquería. Lima, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina,  
Facultad de Economía y Planificación. Lima, Perú

<sup>3</sup>Instituto de Investigación Científica, Universidad de Lima, Perú

Roxana Pillaca   pillacall.roxana@gmail.com

## Palabras clave |

Densidad,  
estrés,  
cortisol,  
parámetros  
hematológicos,  
superóxido dismutasa.

**RESUMEN** | El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de astaxantina proveniente de un hidrolizado obtenido a partir de los subproductos de camarón (HSC) sobre el estrés por densidad en juveniles de tilapia de Nilo *Oreochromis niloticus*. Se evaluaron parámetros zootécnicos, la condición fisiológica mediante los parámetros hematológicos y niveles de cortisol, y finalmente la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) bajo condiciones de laboratorio en Lima, Perú. Se distribuyeron 120 juveniles de tilapia de 18,74 g ± 0,11 en 6 acuarios de 50 L en un sistema de recirculación (RAS) con una carga equivalente de 7,2 kg/m<sup>3</sup>. Se aplicaron dos tratamientos: T0, con inclusión de harina de pescado y T1, con reemplazo del 100% de la harina de pescado por el HSL. El experimento tuvo una duración de 30 días. Nuestros resultados mostraron que T1 tuvo menor rendimiento en los parámetros zootécnicos comparado con T0. Sin embargo, en este tratamiento se observó una menor sobrevivencia. El nivel de cortisol

encontrado en T0 fue menor comparado con T1 reportándose valores de 5,40 y 10,28 ng/ml, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en los parámetros hematológicos entre ambos tratamientos. Finalmente, la actividad del SOD fue significativamente mayor en T1 (218,69 U/ml) frente a T0 (120,71 U/ml). El uso de HSL demostró un impacto favorable sobre el alivio del estrés causado por alta densidad en juveniles de tilapia, sin presentar efectos nocivos sobre la condición fisiológica de los peces, y perfilándose así, como un ingrediente prometedor para reforzar el sistema antioxidante de los juveniles de *O. niloticus*.

Keywords |  
stocking density,  
stress,  
cortisol,  
hematological  
parameters,  
superoxide dismutase.

**ABSTRACT** | This study aimed to assess the impact of including astaxanthin from a hydrolysate obtained from shrimp by-product (SH) on density induced stress in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* under density stress. The evaluation focused on zootechnical parameters, haematological parameters, serum cortisol and superoxide dismutase (SOD) enzyme activity under laboratory conditions in Lima, Peru. A total of 120 juvenile tilapia, each weighing 18.74 g ± 0.11, were distributed across six tanks (50 L) in a recirculation aquaculture system (RAS) with a density of 7.2 kg/m<sup>3</sup>. Two treatments were applied: T0, which included fishmeal and T1, where fishmeal was entirely replaced by SH. The feeding trial lasted for 30 days. The results indicated that T1 had lower performance ( $P < 0.05$ ) in terms of zootechnical parameters compared to T0. However, a lower survival rate was observed with this treatment. The serum cortisol level in T0 was lower ( $P < 0.05$ ) than in T1, with values of 5.40 and 10.28 ng/mL, respectively. No significant differences ( $P > 0.05$ ) were observed in haematological parameters between the treatments. Lastly, SOD activity was significantly higher ( $P < 0.05$ ) in T1 (218.69 U/mL) than in T0 (120.71 U/mL). The use of SH provided a favourable impact alleviating stress induced by high stocking density in juvenile tilapia. Notably, it achieves this without posing any adverse effects on the overall physiological welfare of total fish. It is suggested that SH emerges as a promising ingredient for bolstering the antioxidant system in *O. niloticus* juveniles.

## INTRODUCCIÓN

La tilapia de Nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), es una especie de gran demanda cuya producción mundial representa el 71% (Sandoval-Gallardo et al., 2022), y que muchas veces se cultiva en altas densidades, por ende, se hace imprescindible la búsqueda de ingredientes funcionales que ayuden con la expansión e intensificación de los sistemas de cultivo aliviando el estrés originado por hacinamiento (Zaki et al., 2020; Mahmoud et al., 2021; Negm et al., 2021; Shourbela et al., 2021; Khan et al., 2022).

Por otro lado, los desechos producidos por la carcinicultura representan más del 80% de la producción mundial de crustáceos (FAO, 2022; Šimat et al, 2022). Siendo el exoesqueleto de los crustáceos una fuente valiosa de compuestos bioactivos como la astaxantina, por ello es posible considerar al procesamiento de estos subproductos como una fuente natural de dichos compuestos (Cretton, 2019). Su empleo en la acuicultura ha originado buenos resultados en el crecimiento, protección y reforzamiento del sistema inmune, así como en la tasa de sobrevivencia en el cultivo de una variedad de peces (Xie et al., 2020; Aracati et al., 2021; Bae et al., 2021; Messina et al, 2021).

Así mismo, aprovechar el aporte de los subproductos permitirá generar valor agregado aliviando el impacto de los mismos sobre el ambiente y a la vez generar ingredientes funcionales para la producción intensiva de peces. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la astaxantina proveniente del hidrolizado de subproductos de camarón (*Penaeus vannamei*) sobre el estrés por densidad en juveniles de tilapia de Nilo (*O. niloticus*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Animales y condiciones de experimentales

Se utilizaron 120 juveniles con sexo revertido de tilapia de Nilo (*O. niloticus*) de  $18 \pm 0,11$  g peso promedio, obtenidos del CINPIS – UNALM. Colocados en 6 acuarios (50 L) conectados a un sistema RAS. Con una carga inicial de  $7,2 \text{ kg/m}^3$  y alimentados a saciedad (5 veces/día) con las dietas experimentales.

## Dietas experimentales

Las dietas (Tabla 1) se formularon considerando los requerimientos nutricionales para juveniles de tilapia de Nilo (NRC, 2011). A partir de la formulación de la dieta control (T0) se formuló la dieta experimental (T1), ambas fueron procesadas en el Laboratorio de Acuicultura-UNALM. La dieta experimental correspondió a un reemplazo del 100% de la harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de camarón (HSC) en la formulación.

### Hidrolizado de subproductos de camarón (HSC)

Fue elaborado a base del cefalotórax de camarón patiblanco (*Penaeus vannamei*) a través de un proceso enzimático en el Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima.

Tabla 1. Fórmula y composición químico proximal de las dietas experimentales

Insumos (%)	Tratamientos	
	T0	T1
Hidrolizado subp. camarón	-	39.2
Harina de pescado (60%)	33	-
Harina de soya	25	35
Harina de maiz	13	4,7
Harina de trigo	17	9,9
Aceite de soya	8,8	7,6
Vitamina C	0,4	0,4
Fosfato di cálcico	1,2	1,4
Cloruro de colina	0,2	0,2
Antimicótico	0,2	0,2
Antioxidante	0,03	0,03
*Premix Acuicultura	0,4	0,4
CMC (carboximetilcelulosa)	1	1
Composición proximal (En base seca) (%)		
Proteína total	35.13	35.10
Grasa	12.95	16.03
Fibra cruda	1.44	1.41
ELN	32.88	24.59
**Astaxantina (%)	-	0.12

\*Premix (composición por 1 kg de premezcla):

Vitamina A(9333333 UI), Vitamina D3 (1866667UI), Vitamina E (93333 UI), Vitamina K3 (5,333 g), Tiamina B1(12g), Riboflavina B2 (13,333g), Niacina (100g), Acido pantoténico (33,333g), Piridoxina

B6 (10g), Biotina (0,533g), Ácido fólico (2,667g), Ácido ascórbico (210g), Vitamina B12 (0,02g), Manganeso (26,667g), Hierro (13,333g), Zinc (13,333g), Cobre (1g), Iodo (1g), Selenio (0,2g), Cobalto (0,1g), antioxidante (80g), Excipientes c.s.p (2000G)

\*\*Determinado por el Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima.

## Parámetros de calidad de agua

Durante el experimento todos los valores se mantuvieron dentro de los intervalos tolerables para tilapia de Nilo cultivadas en sistemas intensivos (Dawood et al., 2019; De León-Ramírez et al., 2022). Los promedios de los valores fueron: temperatura ( $27,32 \pm 0,13^{\circ}\text{C}$ ); oxígeno disuelto ( $6,41 \pm 0,11$  mg/L); pH ( $7,55 \pm 0,04$ );  $\text{NH}_3$  ( $0,05 \pm 0,01$  mg  $\text{NH}_3/\text{L}$ ),  $\text{NO}_2$  ( $0,98 \pm 0,06$  mg  $\text{NO}_2/\text{L}$ );  $\text{NO}_3$  ( $76,18 \pm 0,86$  mg  $\text{NO}_3/\text{L}$ ) y  $\text{PO}_4$  ( $2,46 \pm 0,10$  mg  $\text{PO}_4/\text{L}$ ).

## Recolección de sangre

Se realizó a través de una punción en la vena caudal de los peces, luego de 30 días finalizado el experimento. Los ejemplares fueron capturados aleatoriamente y anestesiados individualmente por el método de inmersión en Tricaina metanosulfonato (240 mg/L) (Neiffer y Stamper, 2009). Estos procedimientos se adherieron estrictamente al protocolo ético para el uso animal establecido por "The Use of Fisheries in Research Committee (Joint Committee of the American Fisheries Society, the American Institute of Fishery Research Biologists and the American Society of Ichthyologist and Herpetologists) in 2014".

## Parámetros zootécnicos

Se realizaron biometrías totales cada 15 días, obteniéndose datos unitarios de peso y talla; utilizados en el cálculo de los siguientes parámetros productivos basados en las fórmulas mencionadas por Battisti et al. (2020); Shourbela et al., (2021): Ganancia de peso (g) =  $W_f - W_i$ ; Tasa de crecimiento específico (%/d) =  $100 * (\ln W_f - \ln W_i) / t$ ; Factor de conversión alimenticia = alimento consumido / ganancia de peso; Sobrevivencia (%) =  $100 * (\text{número de peces final} / \text{número de peces al inicio})$ ; Valor Productivo de la Proteína (%) =  $100 * (\text{ganancia de proteína}) / (\text{proteína ingerida})$ ; Consumo de alimento (g) = Sumatoria alimento diario consumido; Factor de condición ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) =  $W * 100 / (\text{longitud})^3$ . Para obtener el valor productivo de la proteína fueron sacrificados 10 peces al inicio y 4 peces por



cada tratamiento al final del experimento, el proceso de Eutanasia fue llevado a cabo según lo señalado por el AVMA, 2020.

### Nivel de cortisol en suero

Previamente, el suero se obtuvo por centrifugación de las muestras sanguíneas (1000 xg a 4°C por 15 min). Para el análisis de cortisol se siguieron las especificaciones del kit comercial (kit ELISA para peces - Mybiosource) y los resultados fueron obtenidos a través de la lectura de un espectrofotómetro de placas de 96 pocillos a 540 nm.

### Parámetros hematológicos de juveniles de tilapia

El recuento de eritrocitos se realizó mediante el método de tinción (solución Natt-Herrick). La evaluación del hematocrito (Ht) se hizo a través de la centrifugación de tubos capilares a 12000 RPM durante 5 min. La concentración de hemoglobina (Hb) se determinó según el método espectrofotométrico de la cianometahemoglobina y el uso de un kit con reactivo Drabkin (Valtec Diagnostics). Finalmente, fueron analizados los siguientes índices que describen la morfología y propiedades de los glóbulos rojos (Witeska *et al.*, 2021): Volumen corpuscular medio (fl) =  $10 \times \text{Hematocrito} / \text{Recuento de eritrocitos}$ ; Hemoglobina Corpuscular Media (pg) =  $\text{Concentración de hemoglobina} / \text{recuento de eritrocitos}$ ; Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media (g/dl) =  $100 \times \text{concentración de hemoglobina} / \text{hematocrito}$ .

### Actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD)

Previamente se obtuvo el plasma por centrifugación de las muestras sanguíneas (1000 xg a 4°C por 10 min). Para el análisis de la actividad de la enzima SOD se siguieron las especificaciones de un kit comercial para peces (Sigma-Aldrich) y los resultados se obtuvieron a través de un espectrofotómetro de 96 pocillos a 540 nm.

## Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un test de normalidad Anderson-Darling, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó una comparación de medias con un nivel de confianza del 95% utilizando la prueba Tukey dado que solo eran dos tratamientos. Todos los datos fueron evaluados usando el software R 4.1.2 y RStudio 2021.09.1

## RESULTADOS

### Evaluación de parámetros productivos

En la Tabla 2 se observa que se presentan diferencias estadísticas para todos los parámetros productivos ( $p < 0,05$ ) con gran ventaja del tratamiento control. En relación a GP se pueden apreciar valores de 45 y 20 g para el T0 y T1, respectivamente. Igualmente, para la TCE, los animales alimentados con el T0 presentaron un mayor crecimiento (4,10 %/d) frente a los que fueron alimentados con el T1 (2,50 %/d). El menor valor del FCA se obtuvo en los peces alimentados con T0 en contraste a lo reportado en el T1, registrándose 1,17 y 1,93, respectivamente. Los peces del T1 presentaron una mayor sobrevivencia en comparación a los del T0. Asimismo, el valor de VPP para los peces alimentados con el T0 fue mayor (7,92%) en relación al T1 (3,42%). En cuanto al CA durante el periodo experimental, los valores fueron 880,59 y 749,85 g siendo mayor el consumo en los peces alimentados con el T0 en comparación a los alimentados con T1. Finalmente, en ambos T0 y T1, se observó un FC mayor a 1, siendo 1,95 y 1,82 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Tabla 2. Parámetros productivos de los juveniles de tilapia de Nilo *Oreochromis niloticus* alimentados con dietas experimentales y cultivadas en alta densidad.

Parámetros (promedio)	Control T0	HSL T1
GP (g)	45,58 <sup>a</sup> ± 3,18	20,90 <sup>b</sup> ± 1,03
TCE (%/d)	4,10 <sup>a</sup> ± 0,17	2,50 <sup>b</sup> ± 0,09
FCA	1,17 <sup>a</sup> ± 0,17	1,93 <sup>b</sup> ± 0,18
S (%)	88,33 <sup>a</sup> ± 7,64	96,67 <sup>a</sup> ± 5,77
VPP(%)	7,92 <sup>a</sup> ± 0,00	3,42 <sup>b</sup> ± 0,17
CA (g)	880,59 <sup>a</sup> ± 62,40	749,85 <sup>b</sup> ± 32,23
FC (g/cm <sup>3</sup> )	1,95 <sup>a</sup> ± 0,04	1,82 <sup>b</sup> ± 0,03

GP: ganancia de peso. TCE: tasa de crecimiento específico. FCA: factor de conversión alimenticia. S: sobrevivencia. VPP: valor productivo de la proteína. CA: consumo de alimento. FC: factor de condición final. Medias seguidas por letras diferentes en las filas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

### Evaluación de los niveles de cortisol en suero

Los valores de los niveles de cortisol obtenidos en el suero de juveniles de tilapia se muestran en la Figura 1. El análisis estadístico muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el T0 y T1, reportándose valores de 5,40 y 10,28 ng/ml, respectivamente

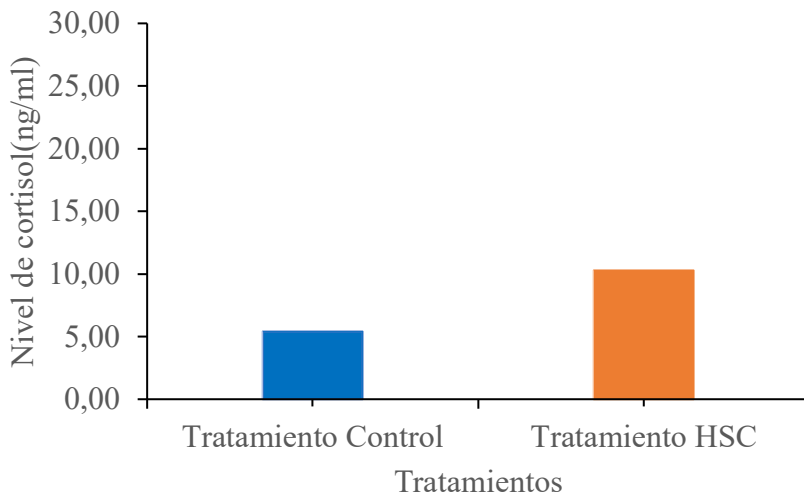


Figura 1. Niveles de la hormona cortisol en suero de juveniles de tilapia de Nilo *Oreochromis niloticus* alimentados con dietas experimentales y mantenidos en alta densidad

### Parámetros hematológicos e índices hematimétricos

Los valores de los parámetros hematológicos se muestran en la Tabla 3; donde también se detallan los índices hematimétricos. Como se puede observar no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos.

Tabla 3. Parámetros hematológicos e índices hematimétricos de juveniles de tilapia de Nilo *Oreochromis niloticus* alimentadas con dietas experimentales y cultivadas en alta densidad.

Parámetros (Valores promedio)	Control T0	HSL T1
RBC ( $10^6/\mu\text{L}$ )	$1,8^a \pm 0,51$	$1,7^a \pm 0,30$
Ht (%)	$32,94^a \pm 5,26$	$27,89^a \pm 2,17$
Hb (g/dL)	$6,88^a \pm 0,29$	$6,03^a \pm 0,54$
VCM (fL)	$221,28^a \pm 131,87$	$190,86^a \pm 71,72$
HCM (pg)	$43^a \pm 17,04$	$40,52^a \pm 14,09$
CHCM (g/dl)	$21,16^a \pm 3,90$	$22,04^a \pm 4,11$

RBC: número de eritrocitos; HT: hematocrito; Hb: hemoglobina; VCM: volumen corpuscular medio, HCM: hemoglobina corpuscular media; CHCM: concentración de hemoglobina corpuscular media. Medias seguidas por letras diferentes en las filas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

### Estimación de la actividad de la enzima Superóxido Dismutasa (SOD)

Los valores obtenidos para la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) se visualizan en la Figura 2. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre T1 y T0, reportándose valores de 218,69 y 120,71 U/mL, respectivamente.

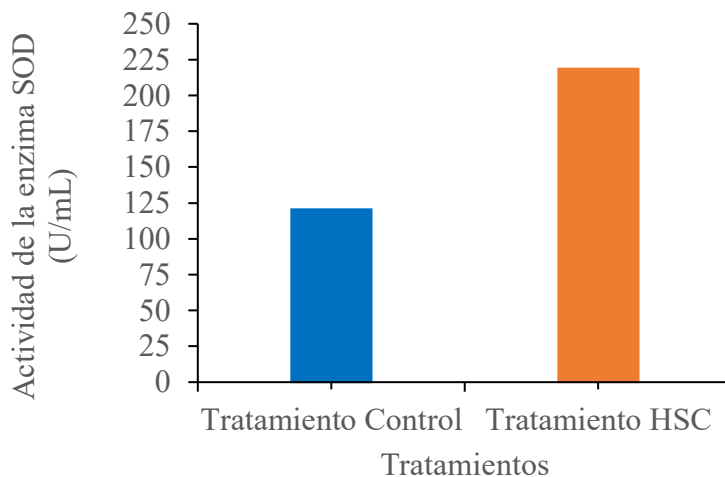


Figura 2. Actividad de la enzima SOD (U/mL) en plasma de juveniles de tilapia de Nilo *Oreochromis niloticus* alimentados con dietas experimentales.

## DISCUSIÓN

El estrés es un factor fisiológico que afecta el desempeño de los animales. El manejo del estrés en un organismo conlleva una alteración energética para restaurar la homeostasis que conllevan a cambios en el crecimiento, comportamiento y sobrevivencia de los peces (Barton, 2002; Schreck et al., 2016). Analizando los resultados de TCE y FCA, se puede mencionar que el T1 mostró valores que difieren con lo registrado por otros autores en trabajos con juveniles de tilapia de Nilo (*O. niloticus*) de similares pesos y cultivados en RAS bajo densidades normales. Al respecto, Effendi et al. (2017) reportan valores de 12,10%/d y 1,60; Cipriani et al. (2021) señalan valores de 3,34%/d y 1,46, mientras que Wu et al. (2021) reportan 2,68%/d y 1,83 para los parámetros mencionados, respectivamente. Mientras que los valores registrados para el T0 fueron mejores, cabe mencionar que se observó una tendencia a mayor mortalidad en este tratamiento desde la segunda semana de iniciado el experimento (aunque no fue significativamente diferente con respecto a T0) y cuyo posible efecto se reflejó en la disminución de la densidad en los acuarios, lo que a su vez permitió un mayor crecimiento en los peces en comparación con el T1. Por otro lado, los resultados muestran la tendencia hacia una mayor sobrevivencia en juveniles de tilapia en T1 (96%) al final del experimento.

Martins et al., 2011 y Schreck et al., (2016) señalan que en los peces la energía obtenida por la ingestión de alimento es almacenada para ser distribuida y destinada inicialmente para el mantenimiento y una fracción para el crecimiento o la maduración sexual. Sin embargo, en una situación de estrés, las rutas metabólicas direccionan la limitada energía destinada para el crecimiento debido a la alta demanda energética que comprende la activación de las vías hormonales que conlleva a la producción de cortisol. Trabajos como de Ellis et al., (2002) y Dawood et al., (2019) coinciden que la densidad de cultivo tiene un efecto sobre parámetros productivos como el GP, CA, FCA y el crecimiento en especies como la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y tilapia de Nilo (*O. niloticus*), respectivamente. En los resultados del presente se pudo observar que los valores de VPP, CA y FC en el T1 fueron significativamente menores comparado con T0, lo cual pudo verse afectado por varios factores, entre ellos el estrés ocasionado por la densidad, además de las características del alimento. Al respecto, autores como Hopher (1993), Hevroy et al. (2005) y Li et al. (2021) mencionan que a una

mayor inclusión de proteína hidrolizada menor será la utilización de la misma, debido a que se presenta un desequilibrio en la correspondencia de la digestión y absorción de los aminoácidos esenciales con los no esenciales, reduciéndose así la disponibilidad para la síntesis de proteínas. En la misma línea, el exceso de algunos aminoácidos conlleva a un efecto negativo en el crecimiento, en el consumo e ingesta y la utilización del alimento (Hepher, 1993; Bureau y Encarnaçao, 2019; Li et al., 2021).

El consumo de la dieta con hidrolizado fue menor comparado con el T0. El resultado confirma la importancia de la palatabilidad del insumo. Esta baja aceptabilidad del T1 podría deberse al procesamiento, ya que está comprobado que el método y los equipos empleados para el proceso de las materias primas afecta las propiedades funcionales y nutricionales de un hidrolizado (Benítez et al., 2008; Gisbert et al., 2018) dado que durante el proceso se pueden originar péptidos amargos o compuestos lipídicos rancios que influyen en la palatabilidad del insumo (Hevroy et al., 2005).

En relación al factor de condición observado en ambos tratamientos, se registró un valor superior a 1, siendo mayor en los peces alimentados con el control. A pesar de ello, los resultados reflejan un crecimiento isométrico en ambos tratamientos tal como lo señala Ighwela et al. (2011). Estos resultados se ven explicados debido al reflejo del factor de condición en el estatus nutricional de los peces el cual se ve afectado por la densidad de cultivo (Ellis et al., 2002).

El estrés es un factor fisiológico que desencadena una cascada de respuestas fisiológicas y metabólicas en el organismo, responsables de una alta demanda energética necesaria para que el pez se encuentre preparado frente a una situación de emergencia (Schreck et al., 2016). El confinamiento de peces en altas densidades propios de un cultivo intensivo puede ser considerado como un factor de estrés crónico (Barton y Iwana, 1991; Schreck et al., 2016; Odhiambo et al., 2020). Siendo el nivel de cortisol sanguíneo un indicador común del grado de estrés en los peces (Barton, 2002) su liberación produce una modificación en el flujo de la limitada reserva energética a causa de la inhibición de la ingesta y la deficiente absorción intestinal, priorizándose la demanda requerida para los procesos de mantenimiento sobre el crecimiento (Wendelaar Bonga, 1997; Schreck et al., 2016).

Los valores de cortisol del presente estudio (Fig. 1) se encuentran dentro del intervalo basal para tilapia de Nilo cultivada en alta densidad comparado con los valores encontrados por Barcellos *et al.* (1999) 17,45 – 20,16 ng/ml, Barreto y Volpato (2006) 5 – 60 ng/ml y Odhiambo *et al.* (2020) que reportaron valores de 6,32 ng/ml. Sin embargo, durante el experimento, el control mostró niveles bajos de cortisol y también fue el grupo que presentó una tendencia a mayor mortalidad con respecto a los ejemplares que recibieron el T1 y como consecuencia la densidad en las unidades experimentales disminuyó. Se podría considerar, por ende, que la densidad tiene un efecto directo sobre los niveles de cortisol tal como lo mencionan Aketch *et al.* (2014); Odhiambo *et al.* (2020) y Flores-Méndez *et al.* (2022). Por otro lado, la astaxantina contenida en el hidrolizado podría haber influido para que los niveles de cortisol no se elevaran y se mantuvieran dentro del intervalo basal para tilapia a pesar de estar mantenidos en alta densidad, tal como lo demuestra autores como Liu *et al.* (2016) y Lim *et al.* (2019) quienes mitigaron los efectos del estrés y disminuyeron los niveles de cortisol suplementando astaxantina en las dietas del bagre amarillo (*Pelteobagrus fulvidraco*) y barramundi (*Lates calcarifer*), respectivamente.

Los parámetros hematológicos son una herramienta útil para evaluar y monitorear el estado fisiológico y la salud de los peces (Wang *et al.*, 2019; Witeska *et al.*, 2021). Los resultados del presente estudio coinciden con el intervalo de valores reportados por Hrubec *et al.*, (2000) para RBC, Ht y Hb de tilapias (*Oreochromis hybrid*) cultivadas en altas densidades. Asimismo, los valores de parámetros hematimétricos se encuentran dentro de los intervalos registrados por Grant (2015) y Hrubec *et al.*, (2000) para tilapia. Estos resultados indican que la inclusión del HSL y su contenido de astaxantina no genera un efecto dañino en la salud de las tilapias, debido a que los parámetros hematológicos y los índices hematimétricos no presentaron diferencias significativas con respecto al control. Similares resultados obtuvieron Aracati *et al.*, (2021) quienes encontraron que la suplementación de astaxantina en dietas de tilapia (*O. niloticus*) no presentaron diferencias significativas en cuanto a los parámetros hematológicos incluyendo los valores de VCM y CHCM.

La superóxido dismutasa (SOD) es una de las principales enzimas antioxidantes que actúa como defensa catalizando e inactivando las especies reactivas de oxígeno (ROS) producidos durante el estrés crónico o agudo, principalmente el

radical anión superóxido; estos ROS pueden causar daños importantes originando reacciones en cadena debido al daño oxidativo causado en las células y tejidos, llegando a causar la muerte de los peces (Chien et al., 2003; Martínez-Álvarez et al., 2005; Hoseinifar et al., 2020). La respuesta inmune y la capacidad antioxidante de la tilapia de Nilo (*O. niloticus*) se ve limitada por el estrés ocasionado por las altas densidades en un cultivo intensivo (Dawood et al., 2019; Shourbela et al., 2021). Nuestros resultados mostraron que T1 mejoró significativamente la actividad de la enzima SOD frente a los peces alimentados con el control evidenciando una respuesta de protección frente a los efectos nocivos del estrés. De igual modo, Bae et al. (2021) mencionan que el uso del extracto de hidrolizado de camarón en dietas de juveniles de tilapia (*O. niloticus*) mejoró la actividad de la enzima SOD (90%) en contraste con lo reportado con su dieta control (65%). Por su parte Gunathilaka et al., (2021) fortalecieron el sistema inmune innato de la dorada (*Pargus major*), suplementando dietas bajas en harina de pescado con hidrolizado de camarón en cuya composición se incluía astaxantina. Asimismo, se ha demostrado que la suplementación de astaxantina en dietas mejora la respuesta inmune y la capacidad antioxidante en peces como el barramundi (*Lates calcarifer*) (Lim et al., 2019), bagre amarillo (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Liu et al., 2016) y pampano dorado (*Trachinotus ovatus*) (Xie et al., 2017). Los resultados obtenidos permiten deducir que el HSL, y su contenido de astaxantina, mejoró la respuesta inmune y antioxidante de juveniles de tilapia de Nilo (*O. niloticus*) mantenidas bajo condiciones de estrés ocasionado por alta densidad que se reflejó en un buen factor de condición y la buena condición fisiológica de los peces, reforzada por la sobrevivencia observada. Al respecto, Gisbert et al. (2018) y Bae et al. (2021) observaron una mejor resistencia a enfermedades obteniendo sobrevivencias mayores al 95% en especies como lubinas (*Dicentrarchus labrax*) y juveniles de tilapia (*O. niloticus*) al incluir hidrolizado de camarón en sus respectivas dietas. Asimismo, Liu et al. (2016) mejoraron la resistencia del bagre amarillo (*Pelteobagrus fulvidraco*) a la infección del bacilo *Proteus mirabilis* con una suplementación de astaxantina en sus dietas.

La inclusión de hidrolizado de subproductos de camarón (*Penaeus vannamei*) (HSL) en las dietas de juveniles de tilapia de Nilo (*O. niloticus*) tuvo un efecto positivo y beneficioso sobre el estrés ocasionado por la alta densidad de cultivo, a pesar de no presentar mejores valores en los parámetros zootécnicos frente a la harina de pescado. Es importante destacar que esta inclusión no tuvo efectos



perjudiciales en el bienestar y la condición fisiológica de los peces. Por otro lado, condujo a la mejora del sistema antioxidante y reforzó el sistema inmune obteniéndose una mayor sobrevivencia. Es así que, el HSC puede ser usado como un valioso ingrediente funcional para reforzar las dietas de juveniles de tilapia de Nilo y atenuar los efectos del estrés debido al hacinamiento durante el cultivo intensivo.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado dentro del Subproyecto PNIPA-ACU-SIADE-PP-000028: "Transformación de residuos de langostineras para la producción de alimento balanceado para tilapia y polímeros para cobertura de semillas aplicables a la agricultura orgánica".

## REFERENCIAS

- Aketch, B O., Angienda, P O., Radull, J. O., & Waindi, E N. (2014). Effect of stocking density on the expression of glucose transporter protein 1 and other physiological factors in the Lake Victoria Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). International aquatic research, 6(2), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s40071-014-0069-3>
- AVMA. (2020) Guidelines for The Euthanasia of Animals. <https://www.avma.org/sites/default/files/2020-02/Guidelines-on-Euthanasia-2020.pdf>
- Aracati, M., Oliveira, S., Rodrigues, L., Costa, C., Conde, G., Cavalli, B., Silva, H., Ibelli, B., Scarabel, V., Silva, I., & Belo, M. (2021). Effect of dietary supplementation with astaxanthin on the hematological and biochemical response of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Ars Veterinaria*, 37(4), 285. <https://doi.org/10.15361/2175-0106.2021v37n4p285-291>
- Bae, J., Song, Y., Moniruzzaman, M., Hamidoghli, A., Lee, S., Je, H., Choi, W., Min, T., & Bai, S. (2021). Evaluation of Dietary Soluble Extract Hydrolysates with or without Supplementation of Inosine Monophosphate Based on Growth, Hematology,

Non-Specific Immune Responses and Disease Resistance in Juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11, 1107. <https://doi.org/10.3390/ani11041107>

Barcellos, L., Nicolaiewsky, S., De Souza, S., & Lulhier, F. (1999). The effects of stocking density and social interaction on acute stress response in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Aquaculture Research*, 30(11–12), 887–892. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00419.x>

Barreto, R., & Volpato, G. (2006). Stress responses of the fish Nile tilapia subjected to electroshock and social stressors. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 39(12), 1605–1612. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2006001200012>

Barton, B. (2002). Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517–525. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>

Barton, B., & Iwama, G. (1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticoesteroids. *Annual Rev. of Fish Diseases*, 1, 3-26. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0959-8030(91)90019-G)

Battisti, E., Rabaioli, A., Uczay, J., Sutilli, L., & Lazzari, R. (2020). Effect of stocking density on growth, hematological and biochemical parameters and antioxidant status of silver catfish (*Rhamdia quelen*) cultured in a biofloc system. *Aquaculture*, 524, 735213. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735213>

Benítez, R., Ibarz, A. y Pagan, J. (2008). Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 42(2), 227-236. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0325-29572008000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572008000200008&lng=es&tlng=es).

Bureau, D., & Encarnação, P. (2019). Adequately Defining the Amino Acid Requirements of Fish: The Case Example of Lysine. *Avances en Nutrición Acuicola*. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/159>

- Chien, Y. H., Pan, C. H., & Hunter, B. (2003). The resistance to physical stresses by *Penaeus monodon* juveniles fed diets supplemented with astaxanthin. *Aquaculture*, 216(1–4), 177–191. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00056-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00056-x)
- Cipriani, L A., Ha, N., de Oliveira, N. S., & Fabregat, T, E, H, P. (2021). Does ingestion of duckweed (*Lemna minor*) improve the growth and productive performance of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* given formulated feeds in a recirculation system? *Aquaculture International*, 29(5), 2197–2205. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00743-0>
- Cretton, M. (2019) Mejoramiento de la calidad nutricional de alimento balanceado para acuicultura. (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina.). <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/83444>
- Dawood, M. A., Shukry, M., Zayed, M. M., Omar, A A., Zaineldin, A. I., & El Basuini, M. F. (2019). Digestive enzymes, immunity and oxidative status of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in intensive conditions. *Slov. Vet. Res.*, 56, 99–108. <https://doi.org/10.26873/SVR-747-2019>
- De León-Ramírez, J., García-Trejo, J., Felix-Cuencas, L., López-Tejeda, S., Sosa-Ferreira, C., & González-Orozco, A. (2022). Effect of the water exchange rate in a recirculation aquaculture system on growth, glucose and cortisol levels in *Oreochromis niloticus*. *Latin american journal of aquatic research*, 50(2), 267–275. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue2-fulltext-2790>
- Effendi, H., Wahyuningsih, S., & Wardiatno, Y. (2017). The use of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) in water recirculation system. *Applied Water Science*, 7(6), 3055–3063. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0418-z>
- Ellis, T., North, B., Scott, A., Bromage, N., Porter, M., & Gadd, D. (2002), The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61, 493-531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>

- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Flores-Méndez, L. C., Lizárraga-Velázquez, C. E., Sánchez-Gutiérrez, E. Y., Arrizon, J., Leyva-López, N., & Hernández, C. (2022). Study of the effect of dietary agavin supplementation in blood parameters and antioxidant enzymes of juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* under stress conditions. *Fishes*, 7(6), 340. <https://doi.org/10.3390/fishes7060340>
- Gisbert, E., Fournier, V., Solovyev, M., Skalli, A., & Andree, K. B. (2018). Diets containing shrimp protein hydrolysates provided protection to European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) affected by a *Vibrio pelagius* natural infection outbreak. *Aquaculture*, 495, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.04.051>
- Grant, K. (2015). Fish hematology and associated disorders. *The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice*, 18(1), 83–103. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.007>
- Gunathilaka, B., Khosravi, S., Shin, J., Shin, J., Herault, M., Fournier, V., & Lee, K. (2021). Evaluation of shrimp protein hydrolysate and krill meal supplementation in low fish meal diet for red seabream (*Pagrus major*). *Fisheries and Aquatic Sciences*, 24(3), 109–120. <https://doi.org/10.47853/fas.2021.e11>
- Hepher, B. (1993). *Nutrición de Peces Comerciales en Estanques*. (Primera Ed). Ciudad de México. Editorial Limusa S.A.
- Hevroy, E., Espe, M., Waagbo, R., Sandnes, K., Ruud, M., & Hemre, G. (2005). Nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. *Aquaculture Nutrition*, 11(4), 301–313. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2005.00357.x>
- Hoseinifar, S., Yousefi, S., Van Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G., Maradonna, F., & Carnevali, O. (2020). Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Fish: The Implications of Probiotic, Prebiotic, and Synbiotics, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1795616>

- Hrubec, T., Cardinale, J., & Smith, S. (2000). Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*, 29(1), 7–12. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2000.tb00389.x>
- Ighwela, K. A., Ahmed, A. B., Abol-Munafi, A. B. (2011). Condition factor as an indicator of growth and feeding intensity of Nile tilapia fingerlings *Oreochromis niloticus* feed on different levels of maltose. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 11(4), 559-563. [https://www.researchgate.net/publication/235656436\\_Condition\\_Factor\\_as\\_a\\_n\\_Indicator\\_of\\_Growth\\_and\\_Feeding\\_Intensity\\_of\\_Nile\\_Tilapia\\_Fingerlings\\_Oreochromis\\_niloticus\\_Feed\\_on\\_Different\\_Levels\\_of\\_Maltose](https://www.researchgate.net/publication/235656436_Condition_Factor_as_a_n_Indicator_of_Growth_and_Feeding_Intensity_of_Nile_Tilapia_Fingerlings_Oreochromis_niloticus_Feed_on_Different_Levels_of_Maltose)
- Khan, M., Mortuza, A., Blumenthal, E., & Mustafa, A. (2022). Role of elderberry (*Sambucus nigra*) on the modulation of stress and immune response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Aquaculture*, 35(3), 765-787. <https://doi.org/10.1080/10454438.2022.2026269>
- Li, X., Zheng, S., & Wu, G. (2021). Nutrition and functions of amino acids in fish. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1285, 133–168. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_8)
- Lim, K., Yusoff, F., Shariff, M., Kamarudin, M., & Nagao, N. (2019). Dietary supplementation of astaxanthin enhances hemato-biochemistry and innate immunity of Asian seabass, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *Aquaculture*, 512, 734339. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734339>
- Liu, F., Shi, H. Z., Guo, Q. S., Yu, Y. B., Wang, A. M., Lv, F., & Shen, W. B. (2016). Effects of astaxanthin and emodin on the growth, stress resistance and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Fish & Shellfish Immunology*, 51, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.02.020>
- Mahmoud, H. K., Reda, F. M., Alagawany, M., & Farag, M. R. (2021). Ameliorating deleterious effects of high stocking density on *Oreochromis niloticus* using natural and biological feed additives. *Aquaculture*, 531, 735900. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735900>

- Martins, C., Conceição, L., & Schrama, J. (2011). Feeding behavior and stress response explain individual differences in feed efficiency in juveniles of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 312(1–4), 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.035>
- Messina, C. M., Manuguerra, S., Arena, R., Renda, G., Ficano, G., Randazzo, M., Fricano, S., Sadok, S., & Santulli, A. (2021). *In vitro* bioactivity of astaxanthin and peptides from hydrolysates of shrimp (*Parapenaeus longirostris*) by-products: From the extraction process to biological effect evaluation, as pilot actions for the strategy "from waste to profit". *Marine Drugs*, 19(4), 216. <https://doi.org/10.3390/md19040216>
- Negm, S. S., Ismael, N. E. M., Ahmed, A. I., Asely, A. M. E., & Naiel, M. A. E. (2021). The efficiency of dietary *Sargassum aquifolium* on the performance, innate immune responses, antioxidant activity, and intestinal microbiota of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* raised at high stocking density. *Journal of Applied Phycology*, 33(6), 4067–4082. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02572-3>
- Neiffer, D. L., & Stamper, M. A. (2009). Fish sedation, analgesia, anesthesia, and euthanasia: considerations, methods, and types of drugs. *ILAR J.*, 50(4), 343-60. [ps://doi.org/10.1093/ilar.50.4.343](https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.343).
- Ni, M., Wen, H., Li, J., Chi, M., Bu, Y., Ren, Y., Zhang, M., Song, Z., & Ding, H. (2014). The physiological performance and immune responses of juvenile Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) to stocking density and hypoxia stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 36(2), 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.12.002>
- Odhiambo, E., Angienda, P. O., Okoth, P., & Onyango, D. (2020). Stocking density induced stress on plasma cortisol and whole blood glucose concentration in Nile Tilapia fish *Oreochromis niloticus* of lake Victoria, Kenya. *International Journal of Zoology*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/9395268>
- Sandoval-Gallardo, J. M., Osuna-Ruiz M. I., Martínez-Montañón E., Hernández M. C., Hurtado-Olivam M. Á., Bañuelos-Vargasm M. I., Rios-Herrera, G. D., Heredia, J. B., Ramírez-Perez, J. S., & Salazar-Leyva, J. A. (2022). Use of Pacific thread herring

(*Opisthonema libertate*) protein hydrolysates in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* feeds: Productive performance and antioxidant enzymes on organisms exposed to a heat-induced stress. *Aquaculture Research*, 53(17), 6135–6147. <https://doi.org/10.1111/are.16087>

Schreck, C., Tort, L., Farrell, A., & Brauner, C. (Eds) (2016). *Biology of stress in fish. Fish physiology*. Vol. 35. Academic Press. 590 pp.

Shourbela, R. M., El-Hawarry, W. N., Elfadadny, M. R., & Dawood, M. A. O. (2021). Oregano essential oil enhanced the growth performance, immunity, and antioxidative status of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared under intensive systems. *Aquaculture*, 542, 736868. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736868>

Šimat, V., Rathod, N. B., Čagalj, M., Hamed, I., & Generalić Mekinić, I. (2022). Astaxanthin from crustaceans and their byproducts: A bioactive metabolite candidate for therapeutic application. *Marine Drugs*, 20(3), 206. <https://doi.org/10.3390/md20030206>

Use of Fishes in Research Committee (Joint Committee of the American Fisheries Society, the American Institute of Fishery Research Biologists, and the American Society of Ichthyologists and herpetologists). (2014). *Guidelines for the use of fishes in research* American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 90 pp.

Wang, Y., Xu, P., Nie, Z., Li, Q., Shao, N., & Xu, G. (2019). Growth, digestive enzymes activities, serum biochemical parameters and antioxidant status of juvenile genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus* reared at different stocking densities in in-pond raceway recirculating culture system. *Aquaculture Research*, 50(4), 1338–1347. <https://doi.org/10.1111/are.14010>

Wendelaar Bonga, S. (1997). The stress response in fish. *Physiological Reviews*. 77(3), 591-625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>

Witeska, M., Kondera, E., Lugowska, K., & Bojarski, B. (2021). Hematological methods in fish-Not only for beginners. *Aquaculture*, 547, 737498 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737498>

- Wu, J. P., Liu, W., Wen, H., Zhou, Y., & Wu, J. J. (2021). Animal byproducts with or without enzymatic hydrolysis completely replacement of fish meal in genetically improved farmed tilapia diets *Oreochromis niloticus* . *Aquaculture Research*, 52(1), 291–301. <https://doi.org/10.1111/are.14892>
- Xie, J., Chen, X., Niu, J., Wang, J., Wang, Y., & Qiang-qiang, L. (2017). Effects of astaxanthin on antioxidant capacity of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) *in vivo* and *in vitro*. *Fish Aquatic Sci*, 20, 6. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0052-1>
- Xie, S., Yin, P., Tian, L., Yu, Y., Liu, Y., & Niu, J. (2020). Dietary Supplementation of Astaxanthin Improved the Growth Performance, Antioxidant Ability and Immune Response of Juvenile Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) Fed High-Fat Diet. *Marine Drugs*, 18(12), 642. <https://doi.org/10.3390/md18120642>
- Zaki, M. A. A., Alabssawy, A. N., Nour, A. E. A. M., El Basuini, M. F., Dawood, M. A. O., Alkahtani, S., & Abdel-Daim, M. M. (2020). The impact of stocking density and dietary carbon sources on the growth, oxidative status and stress markers of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared under biofloc conditions. *Aquaculture Reports*, 16, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100282>





# Efectos del biosólido de tilapia *Oreochromis sp.* en la producción del cultivo de pepino *Cucumis sativus*

Effects of tilapia *Oreochromis sp.*  
biosolid on the production of cucumber  
cultivation *Cucumis sativus*

José Gabriel Ortega Villamar<sup>1</sup>, Ana Ruth Álvarez Sánchez<sup>2</sup>,  
Alejandra Soto Estrada<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado,  
Maestría en Acuicultura, Los Ríos - Quevedo - Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo,  
Facultada de Ciencias Pecuarias y Biológicas,  
Los Ríos - Quevedo - Ecuador.

<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz,  
Postgrado en Agroecosistemas Tropicales,  
Veracruz, México.

José Gabriel Ortega Villamar   [mexgabrielov27@gmail.com](mailto:mexgabrielov27@gmail.com)

Palabras clave |  
Acuicultura,  
agricultura,  
residuo,  
estanque,  
hortaliza.

**RESUMEN** | La producción intensiva de la tilapia genera residuos orgánicos que tienen un uso potencial en suelos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la aplicación del biosólido de tilapia *Oreochromis sp.* en los parámetros agronómicos y productivos del cultivo de pepino *Cucumis sativus*. El ensayo se estableció en el campus experimental La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se utilizó un diseño completo al azar con cuatro tratamientos: T1 (control sin fertilización), T2 (6 g biosólidos de tilapia), T3 (8 g biosólido de tilapia), T4 (7,5 g fertilización inorgánica). Utilizando un total de 400 plantas por tratamiento. Los resultados corresponden a biosólido de tilapia con dosis de 8 g donde se observaron los mayores valores en altura de planta  $103,77 \pm 16,21$  cm, número de flores  $9,26 \pm 0,84$ , número de hojas  $15,89 \pm 3,75$ , peso

153,71 ± 42,39 g, longitud total 16,11 ± 3,42 cm, diámetro 4,07 ± 0,64 cm, biomasa fresca 90.107 ± 1.152 g. y seca 9.893 ± 1.152 g. En el rendimiento se observó que el uso de biosólido de tilapia con dosis de 8 g obtuvo los mejores resultados, observando una diferencia del 95 % versus el tratamiento T4 correspondiente al control químico. Los biosólidos tuvieron efecto en el desarrollo del cultivo y el incremento de los nutrientes bases del suelo.

Keywords |  
aquaculture,  
agriculture,  
residue,  
pond,  
vegetables.

**ABSTRACT** | The intensive production of tilapia generates organic waste that has potential use in agricultural soils. The objective of this work was to determine the effect of the application of tilapia *Oreochromis sp.* biosolid on the agronomic and productive parameters of the cucumber *Cucumis sativus* crop. The trial was established at the La María experimental campus of the Quevedo State Technical University. A complete randomized design was used with four treatments: T1 (control without fertilization), T2 (6 g tilapia biosolids), T3 (8 g tilapia biosolids), T4 (7.5 g inorganic fertilization). Using a total of 400 plants per treatment. The observed results correspond to tilapia biosolid with a dose of 8 g where the highest values were observed in plant height 103.77 ± 16.21 cm, number of flowers 9.26 ± 0.84, leaf number 15,890 ± 3,747, weight 153.71 ± 42.39 g, total length 16.11 ± 3.42 cm, diameter 4.07 ± 0.64 cm, fresh biomass 90,107 ± 1,152 g and dry biomass 9,893 ± 1,152 g. In terms of performance, it was observed that the use of tilapia biosolid with a dose of 8 g obtained the best results, observing a difference of 95% versus the T4 treatment corresponding to the chemical control. The biosolids influenced the development of the crop and the increase in the base nutrients of the soil.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha establecido como una fuente esencial de alimentos y recursos económicos en todo el mundo, cada vez más países adoptan esta práctica para minimizar los impactos ambientales y resolver problemas de conservación (Naylor et al., 2021). Específicamente, Ecuador en particular, ha experimentado un aumento en la producción acuícola, con el cultivo de varias especies, entre ellos *Oreochromis sp.*, que ha generado ingresos significativos para

el país (Jácome et al., 2019). Sin embargo, uno de los principales desafíos de la acuicultura es el manejo de los residuos, que pueden afectar la sostenibilidad de la industria y generar riesgos para la salud humana y animal (Leal et al., 2023).

El uso de biosólidos, una forma de compostaje orgánico, puede ser una posible solución a estos problemas de gestión de residuos y promover prácticas agrícolas más sostenibles (Ramírez et al., 2021). Los biosólidos son el resultado de las heces de los peces, organismos muertos, residuos de alimentos no consumidos y otros elementos utilizados en la acuicultura (Fernández, 2021). Su composición depende de múltiples factores, como la fase de producción, el tipo de alimento, la eficiencia de la alimentación y las condiciones del sistema acuícola (Gallardo y Domínguez, 2015). Estos residuos contienen una gran cantidad de materia orgánica y nutrientes que pueden beneficiar a los campos agrícolas, mejorar la retención de agua, las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Naspirán et al., 2022).

El compostaje de biosólidos es un proceso biológico que transforma la materia orgánica en humus, que ayudan a mejorar las características de los suelos agrícolas (González Acosta, 2012). Se ha comprobado que la aplicación de biosólidos al suelo aumenta el rendimiento de varios cultivos como: las hortalizas, plantas forrajeras, plantas ornamentales, árboles frutales y maderables (Teuber et al., 2007). A pesar de su potencial, los biosólidos no se utilizan ampliamente en Ecuador, lo que representa una oportunidad perdida para aprovechar sus beneficios ambientales y económicos (Rabasso, 2006).

El empleo de abonos orgánicos puede ayudar a disminuir el uso de abonos sintéticos también promover prácticas agrícolas y pecuarias más amigables con el medio ambiente (González, 2015). La aplicación de los biosólidos de piscifactorías a el suelo ha demostrado aumentar la producción de cereal como arroz (Gupta, 2006) y varias hortalizas, incluidos tomate (Machuca, 2022), chile pimiento (Acedo y Elizabeth, 2019), frijol (Colín et al., 1994) y pepino (Thi Da et al., 2020).

El pepino *Cucumis sativus* es una hortaliza de gran consumo a nivel mundial debido a su alto contenido de vitaminas y minerales esenciales (Rodríguez y Girón, 2021). Contiene vitamina C, vitamina K, potasio, magnesio y silicio que son

importantes para la salud del cuerpo (Monge et al., 2021). Además, los pepinos contienen compuestos antioxidantes y antiinflamatorios, así como otras cucurbitáceas, que se cree que tienen propiedades beneficiosas para la salud (Díaz et al., 2018). Es bajo en calorías, alto en agua y fibra, además su consumo se ha relacionado con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, la regulación del azúcar en la sangre y ayudan a reducir la presión arterial (Echevarría, 2017). También, los pepinos contienen flavonoides que han demostrado tener efectos hipoglucemiantes, lo que los hace ideales para diabéticos (Preciado et al., 2019).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar el uso de biosólidos de *Oreochromis* sp. como biofertilizantes en la producción de *Cucumis sativus*. Los resultados podrían proporcionar información valiosa sobre las propiedades de los biosólidos derivados de diferentes pisciculturas y ofrecer una base científica y tecnológica para su futura aplicación en la agricultura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y condiciones del estudio

La investigación se llevó a cabo en la finca experimental "La María", ubicada en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. Se realizó entre mayo y julio de 2022, y las coordenadas geográficas de la finca son 1° 4' 48.7" S y 79° 30' 3.7" W, con una altitud de 120 metros sobre el nivel del mar y una temperatura media de 24.9 °C.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con 4 tratamientos diferentes: T1 (control experimental sin fertilización o testigo), T2 (6 g de biosólidos de tilapia), T3 (8 g de biosólidos de tilapia), T4 (7,5 g de fertilización inorgánica). Cada tratamiento contó con 4 unidades experimentales y se evaluaron en un total de 400 plantas. La recolección de datos se realizó a los 10 días de haber aplicado los tratamientos.

## Recolección y estabilización de biosólidos

El biosólido se lo extrajo de la capa de sedimento acumulada en el fondo del estanque de tilapia después de finalizado el ciclo o proceso de la producción. Posteriormente, el sedimento se depositó en contenedores de 60 L para transportarlos al sitio de manejo del biosólido. Para mejorar la eficiencia de la separación sólido-líquido, se utilizó un sistema de filtración con geotextiles en lugar de la tela de fieltro de poliéster. Al exponer el biosólido al sol, se aceleró el proceso de secado y se colocó sobre una superficie inclinada para favorecer el drenaje del líquido. La mezcla del biosólido con cal se optimizó utilizando una relación de 1:1 en peso (biosólidos: cal) para garantizar una mejor homogenización y reducción de patógenos y malos olores. La mezcla se colocó en camas de secado y se dejó secar al sol durante 15-30 días, dependiendo de la estación del año.

## Análisis fisicoquímicos

La muestra del biosólido recolectado se analizó en el laboratorio de servicios ambientales LABCESTA S.A., donde se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Se incluyó la medición de nitrógeno total, fósforo y potasio (NPK) para evaluar el potencial del biosólido como fertilizante orgánico. Además, se determinó el contenido de carbono orgánico total (COT) para evaluar la calidad de la materia orgánica. Para los análisis se tomó una muestra de 500 g.

## Análisis microbiológico

Además de los coliformes totales y fecales, se incluyeron pruebas para la detección de *Salmonella* y *Escherichia coli* (*E. coli*) patógena, para obtener una evaluación más completa de la calidad microbiológica del biosólido. Estas pruebas adicionales permitirán garantizar que el biosólido estabilizado cumple con los estándares de calidad para su uso como fertilizante orgánico o enmienda de suelo. Con estos ajustes en la recolección y estabilización del biosólido, así como en la realización de análisis fisicoquímicos y microbiológicos más completos, el estudio podrá proporcionar resultados más confiables y representativos del potencial de los biosólidos de tilapia como fertilizantes orgánicos y enmiendas de suelos.

## Material experimental

Se utilizaron semillas de pepino *Cucumis sativus* híbrido Darlington. Se seleccionaron 25 plantas de pepino por unidad experimental. Se estudio el biosólido de tilapia proveniente de las piscinas o estanques acuícolas, para aplicarlo como biofertilizante en el cultivo de pepino y evaluar las características agronómicas en diferentes dosis. La siembra indirecta se realizó el 1 de julio de 2022.

La densidad de población fue de 25 plantas m<sup>-2</sup>, entre hilera separadas 1 m, con distanciamiento de 50 cm entre plantas y distancia entre las repeticiones de 1,5 m. Los biosólidos se aplicaron en el cultivo a 30 cm de la planta sobre el suelo cada 10 días.

## Procedimientos de germinación

La siembra del pepino se realizó en el invernadero de la facultad de Ciencias Agrarias. Se utilizó abono orgánico o compost compuesto por residuos orgánicos de material vegetativo, tierra negra, estiércol de bovino, cenizas de arroz y panca de maíz. Posteriormente, se procedió a llenar vasos de 50 oz donde se depositaron las semillas de pepino.

Se cubrieron los vasos germinadores con plástico negro, asegurándose de que no entrara luz, para que las semillas germinaran adecuadamente. Se controló el riego con regaderas y se observaron los primeros brotes para retirar el plástico y dejar los plantines a plena luz solar.

## Trasplante y labores culturales

El trasplante se realizó una vez las plántulas produjeron 2 hojas verdaderas. A continuación, las plántulas fueron trasplantadas en el área del experimento en campo abierto o extensión de tierra. Las labores culturales diarias realizadas fueron riego, control de malezas, poda, control mecánico de plagas y enfermedades, y tutorado para el cultivo de pepino.

## Variables para medir

### Altura de planta

Se midió la altura de las plantas desde la base del tallo hasta la yema apical, utilizando una cinta métrica graduada en milímetros. Se evaluaron 25 plantas por repetición para aumentar la precisión en la evaluación de cada tratamiento. Las mediciones se realizaron semanalmente a partir de los 10 días después del trasplante hasta completar el ciclo del cultivo.

### Número de hojas

Se contabilizó las hojas completamente expandidas en 25 plantas seleccionadas de cada tratamiento, para mejorar la precisión en la evaluación. Se realizaron las mediciones semanalmente desde los 10 días después del trasplante hasta la semana de la cosecha.

### Número de flores por planta

Se registró el número de flores en cada una de las 25 plantas por tratamiento, y se llevó a cabo una vez que al menos el 50% de las plantas presentaran flores abiertas. La medición se repitió semanalmente hasta la semana de cosecha.

### Longitud del fruto

Se anotó datos de 10 plantas de cada parcela, midiendo la longitud desde la base del fruto hasta la inserción del pedúnculo. Los valores obtenidos se expresaron en centímetros, con una precisión de un decimal.

### Diámetro del fruto

Se midió el diámetro en tres puntos (inicial, medio y final) del fruto en 10 plantas de cada parcela. Esta medición se realizó con un calibrador vernier con una precisión de 0,01 mm.

## Número de frutos

Se contó el número de frutos de las 25 plantas de la parcela neta. Los conteos se realizaron semanalmente desde la primera aparición de frutos hasta la semana de cosecha.

## Peso del fruto

El peso total de los 10 frutos producidos por planta de cada parcela en estudio se pesó con una balanza analítica de alta precisión, modelo Ohaus SP 6001. Luego, se midió el peso total de la producción en cada parcela, y se dividió entre el número de plantas por parcela.

## Rendimiento por planta (kg/planta)

Se pesó la producción total de cada parcela con balanza analítica, el rendimiento se lo precisó al término de las aplicaciones con los datos obtenidos en gr/planta y de la densidad de siembra proyectada a Kg/Ha.

## Cosecha de biomasa fresca

Después de realizar el corte o cosecha a una altura máxima de cada parcela, dentro del área útil, se pesaron en gramos 10 plantas para conocer el rendimiento de biomasa fresca (hojas - tallos).

## Producción de materia seca y humedad

Para determinar la materia seca, se tomaron 10 muestras de plantas de pepino en cada repetición por tratamiento, y se colocaron en bolsas de papel Kraft de tamaño adecuado. Posteriormente, se ubicaron en una estufa esterilizadora de precisión marca Binder, modelo ED-720, durante un periodo de 72 horas continuas, para obtener el peso seco (PS)/m<sup>2</sup>.

Posteriormente, se calculó el porcentaje de humedad dividiendo el peso seco entre el peso húmedo inicial y multiplicando este valor por 100. De esta manera,



se obtuvo el porcentaje de agua extraída (García y Fernández, 2012); (Mazón et al., 2022) ; (Pixton, 1967).

## Control de plagas, enfermedades y malezas

El control sanitario se llevó a cabo mediante aplicaciones de insecticidas y fungicidas, que se realizaron tres veces por semana desde el trasplante en campo directo hasta la cosecha. Las aplicaciones se ajustaron según las necesidades identificadas en los monitoreos periódicos, que incluyeron evaluaciones visuales de las plantas y análisis de datos sobre la presencia de plagas y enfermedades (López et al., 2017)

## Monitoreo de enfermedades

Se realizaron monitoreos diarios para evaluar la presencia de enfermedades en las plantas, cuantificando la sintomatología observada y registrando los resultados en informes manuales en campo. Los monitoreos se llevaron a cabo durante las primeras horas del día y se evaluaron 25 plantas de forma aleatoria, que representaron aproximadamente el 99,9 % de la densidad total del cultivo.

## Incidencia de enfermedades

Basándose en los monitoreos realizados. Para determinar la incidencia de enfermedades se dividió el número de plantas y frutos con síntomas virales entre el número de plantas totales, y se multiplicó por 100 (Pérez et al., 2016) (López et al., 2018). Además, se analizaron las relaciones entre la incidencia de enfermedades y diversos factores ambientales, como la temperatura y la humedad, para identificar posibles patrones y desarrollar estrategias de prevención y control más efectivas.

## Análisis estadístico

Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las variables agronómicas de las plantas de pepino utilizando el paquete estadístico Minitab® 19 Statical Software. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05. Se incluyeron análisis adicionales,

como correlaciones y regresiones, para evaluar posibles relaciones entre las variables y los tratamientos aplicados, así como para identificar factores que puedan influir en la productividad y la calidad del cultivo.

## RESULTADOS

### Análisis físicos químicos y microbiológicos

En el caso del biosólido de tilapia, los análisis físicos mostraron un pH de 7,3, indicando un ambiente neutro, y una conductividad eléctrica de 1.185  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que sugiere una moderada concentración de sales. La humedad fue del 7,7%, y la materia orgánica del 12,05 %. En cuanto a los análisis químicos, se encontraron niveles de cadmio (Cd) inferiores a 0,25 mg/kg, cobre (Cu) inferiores a 50 mg/kg, manganeso (Mn) de 342,97 mg/kg, hierro (Fe) de 2.637,69 mg/kg, sodio (Na) de 766,50 mg/kg, potasio (K) de 29.889,39 mg/kg, plomo (Pb) inferiores a 10 mg/kg y calcio (Ca) superiores a 30.000 mg/kg. Los valores microbiológicos mostraron coliformes totales y coliformes fecales inferiores a 1,8 UFC/g.

Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la composición y características de los biosólidos de tilapia, lo que permite una mejor comprensión de su potencial uso como fertilizantes o enmiendas en la agricultura. Además, los bajos niveles de contaminantes y coliformes indican que estos materiales pueden ser seguros para su aplicación en cultivos (tabla 1).

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y microbiológico del biosólido de tilapia *Oreochromis sp.*.

Tipo de muestra	Tipo de Análisis	Características	Ensayo	Unidad	Resultado	Método/Norma
Biosólido de Tilapia	Físico	Físicas	pH	Unidades de ph	7,3	Electrometría
			Conductividad eléctrica	Us/cm	1185	Electrometría
			Humedad	Porcentaje (%)	7,7	Gravimétrico
			Materia orgánica	Porcentaje (%)	12,05	Gravimétrico
	Químico	No Metales	Potasio	mg/kg	29889,39	ICP
			Calcio	mg/kg	>30000	ICP
			Manganeso	mg/kg	342,97	ICP
			Hierro	mg/kg	2637,69	ICP
			Sodio	mg/kg	766,50	ICP
		Metales pesados	Cadmio	mg/kg	< 0,25	ICP
			Plomo	mg/kg	<10	ICP
	Microbiológico	Indicadores	Coliformes totales	NMP/g	< 1,8	Fermentación en tubos múltiples
			Coliformes fecales	NMP/g	< 1,8	Fermentación en tubos múltiples

### Parámetros agronómicos

Se estudiaron las diferencias en la altura de planta de pepino en distintos momentos del ciclo de cultivo (10, 20, 30 y 40 días) para cuatro tratamientos diferentes. Los hallazgos más relevantes de cada tratamiento son los siguientes:

Tratamiento 1: Este tratamiento mostró la menor altura en todos los periodos evaluados en comparación con los demás tratamientos. A los 10 días, las plantas alcanzaron una altura promedio de  $16,41 \pm 0,93$  cm; a los 20 días,  $40,39 \pm 5,48$  cm; a los 30 días,  $66,07 \pm 8,67$  cm y a los 40 días,  $82,42 \pm 7,21$  cm.

Tratamiento 2: Este tratamiento exhibió un crecimiento intermedio en comparación con los otros tratamientos. Las plantas presentaron una altura promedio de  $18,45 \pm 0,63$  cm a los 10 días,  $47,70 \pm 5,81$  cm a los 20 días,  $69,70 \pm 10,77$  cm a los 30 días y  $99,17 \pm 16,30$  cm a los 40 días.

Tratamiento 3: Este tratamiento mostró el segundo mayor crecimiento a los 40 días. Las plantas registraron una altura promedio de  $18,82 \pm 0,91$  cm a los 10 días,  $55,78 \pm 4,76$  cm a los 20 días,  $73,72 \pm 6,31$  cm a los 30 días y  $103,77 \pm 16,21$  cm a los 40 días.

Tratamiento 4: Este tratamiento presentó la mayor altura promedio en todos los periodos evaluados. Las plantas alcanzaron  $19,57 \pm 0,71$  cm a los 10 días,  $58,38 \pm 6,69$  cm a los 20 días,  $75,23 \pm 7,74$  cm a los 30 días y  $106,05 \pm 17,52$  cm a los 40 días. (Tabla 2).

En sí, el tratamiento 4 mostró el mayor crecimiento en altura de planta a lo largo del ciclo de cultivo, mientras que el tratamiento 1 presentó el menor crecimiento en comparación con los demás tratamientos.

Los tratamientos 2 y 3 exhibieron un crecimiento intermedio, y el tratamiento 4 mostró el segundo mayor crecimiento a los 40 días, todos estos datos son estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 2.** Altura de la planta a los 10, 20, 30 y 40 días del cultivo de pepino *Cucumis sativus* abonados con biosólido de tilapia *Oreochromis sp.* en diferentes dosis. Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para  $p \leq 0,05$ . El signo  $\pm$  muestra el error estándar de la media.

Tratamientos	Dosis	Altura de planta a los 10 días (cm)	Altura de planta a los 20 días (cm)	Altura de planta a los 30 días (cm)	Altura de planta a los 40 días (cm)
T1	Testigo	$16,41 \pm 0,93$ <sup>d</sup>	$40,39 \pm 5,48$ <sup>e</sup>	$66,07 \pm 8,67$ <sup>c</sup>	$82,42 \pm 7,20$ <sup>d</sup>
T2	BT 6 g	$18,45 \pm 0,63$ <sup>c</sup>	$47,70 \pm 5,81$ <sup>cd</sup>	$69,70 \pm 10,77$ <sup>b</sup>	$99,17 \pm 16,30$ <sup>bc</sup>
T3	BT 8 g	$18,82 \pm 0,91$ <sup>b</sup>	$55,78 \pm 4,76$ <sup>b</sup>	$73,71 \pm 6,31$ <sup>a</sup>	$103,77 \pm 16,21$ <sup>ab</sup>
T4	NPK 7.5 g	$19,57 \pm 0,71$ <sup>a</sup>	$58,38 \pm 6,69$ <sup>a</sup>	$75,23 \pm 7,74$ <sup>a</sup>	$106,05 \pm 17,52$ <sup>a</sup>

BT: Biosólido de tilapia

Se analizó el número de hojas en plantas de pepino en diferentes momentos del ciclo de cultivo (10, 20, 30 y 40 días) para seis tratamientos distintos. A continuación, se presenta una descripción de los hallazgos más relevantes de cada tratamiento:

**Tratamiento 1:** Este tratamiento mostró el menor número de hojas en todos los periodos evaluados en comparación con los demás tratamientos. A los 10 días, las plantas presentaron un promedio de  $3,77 \pm 0,66$  hojas; a los 20 días,  $6,75 \pm 1,13$  hojas; a los 30 días,  $9,56 \pm 2,12$  hojas y a los 40 días,  $13,63 \pm 3,08$  hojas.

**Tratamiento 2:** En este tratamiento, las plantas tuvieron un promedio de  $4,24 \pm 0,73$  hojas a los 10 días,  $7,49 \pm 1,21$  hojas a los 20 días,  $10,91 \pm 2,01$  hojas a los 30 días y  $15,13 \pm 3,16$  hojas a los 40 días, mostrando un crecimiento intermedio en comparación con los otros tratamientos.

**Tratamiento 3:** Este tratamiento mostró un crecimiento superior en comparación con los tratamientos 1 y 2, con un promedio de  $4,55 \pm 0,81$  hojas a los 10 días,  $7,74 \pm 1,01$  hojas a los 20 días,  $12,75 \pm 1,51$  hojas a los 30 días y  $15,89 \pm 3,75$  hojas a los 40 días.

**Tratamiento 4:** Las plantas en este tratamiento exhibieron el mayor número de hojas en todos los periodos evaluados, con un promedio de  $4,81 \pm 0,77$  hojas a los 10 días,  $7,69 \pm 1,50$  hojas a los 20 días,  $13,04 \pm 1,41$  hojas a los 30 días y  $16,65 \pm 3,43$  hojas a los 40 días (Tabla 3).

En sí, el tratamiento 4 mostró el mayor crecimiento en el número de hojas a lo largo del ciclo de cultivo, mientras que el tratamiento 1 presentó el menor crecimiento en comparación con los demás tratamientos. Los tratamientos 2 y 3 exhibieron un crecimiento intermedio. Cabe mencionar que todos estos datos son estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 3.** Número de hojas a los 10, 20, 30 y 40 días del cultivo de pepino *Cucumis sativus* fertilizados con biosólido de tilapia *Oreochromis* sp. en diferentes dosis. Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para  $p \leq 0,05$ . El signo  $\pm$  muestra el error estándar de la media.

Tratamientos	Dosis	Número de hojas a los 10 días	Número de hojas a los 20 días	Número de hojas a los 30 días	Número de hojas a los 40 días
T1	Testigo	$3,77 \pm 0,66$ e	$6,75 \pm 1,13$ b	$9,56 \pm 2,12$ d	$13,63 \pm 3,08$ d
T2	BT 6 g	$4,24 \pm 0,73$ cd	$7,49 \pm 1,21$ a	$10,91 \pm 2,01$ c	$15,13 \pm 3,16$ bc
T3	BT 8 g	$4,55 \pm 0,81$ ab	$7,74 \pm 1,01$ a	$12,75 \pm 1,51$ a	$15,89 \pm 3,75$ ab
T4	NPK 7.5 g	$4,81 \pm 0,77$ a	$7,69 \pm 1,50$ a	$13,04 \pm 1,41$ a	$16,65 \pm 3,43$ a

BT: Biosólido de tilapia.

Se analizó el número de flores en plantas de pepino en diferentes momentos del ciclo de cultivo (20, 30 y 40 días) para cuatro tratamientos distintos. A continuación, se presenta una descripción de los hallazgos más relevantes de cada tratamiento:

**Tratamiento 1:** Este tratamiento mostró el menor número de flores en todos los periodos evaluados en comparación con los demás tratamientos. A los 20 días, las plantas presentaron un promedio de  $1,34 \pm 0,54$  flores; a los 30 días,  $2,24 \pm 0,43$  flores; y a los 40 días,  $5,96 \pm 0,94$  flores.

**Tratamiento 2:** En este tratamiento, las plantas tuvieron un promedio de  $2,47 \pm 0,61$  flores a los 20 días,  $2,72 \pm 0,93$  flores a los 30 días y  $8,50 \pm 0,92$  flores a los 40 días, mostrando un crecimiento intermedio en comparación con los otros tratamientos.

**Tratamiento 3:** Este tratamiento mostró un crecimiento superior en comparación con los tratamientos 1 y 2, con un promedio de  $2,74 \pm 0,69$  flores a los 20 días,  $4,04 \pm 0,93$  flores a los 30 días y  $9,26 \pm 0,84$  flores a los 40 días.

**Tratamiento 4:** Las plantas en este tratamiento exhibieron el mayor número de flores en todos los periodos evaluados, con un promedio de  $3,00 \pm 0,65$  flores a los 20 días,  $4,31 \pm 0,83$  flores a los 30 días y  $11,33 \pm 0,88$  flores a los 40 días (Tabla 4).

El tratamiento 4 mostró el mayor número de flores a lo largo del ciclo de cultivo, mientras que el tratamiento 1 presentó el menor número en comparación con los demás tratamientos.

Los tratamientos 2 y 3 exhibieron un crecimiento intermedio en el número de flores. Cabe considerar que los resultados aquí expuestos son estadísticamente significativos ( $p \leq 0.05$ ).

Tabla 4. Número de flores a los 20, 30 y 40 días del cultivo de pepino *Cucumis sativus* fertilizados con biosólido de tilapia *Oreochromis* sp. en diferentes dosis. Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para  $p \leq 0,05$ . El signo  $\pm$  muestra el error estándar de la media.

Tratamientos	Dosis	Número de flores los 20 días	Número de flores los 30 días	Número de flores los 40 días
T1	Testigo	1,34 $\pm$ 0,54 <sup>e</sup>	2,24 $\pm$ 0,43 <sup>d</sup>	5,96 $\pm$ 0,94 <sup>d</sup>
T2	BT 6 g	2,47 $\pm$ 0,61 <sup>bc</sup>	2,72 $\pm$ 0,93 <sup>c</sup>	8,50 $\pm$ 0,92 <sup>c</sup>
T3	BT 8 g	2,74 $\pm$ 0,69 <sup>ab</sup>	4,04 $\pm$ 0,93 <sup>ab</sup>	9,26 $\pm$ 0,84 <sup>b</sup>
T4	NPK 7.5 g	3,00 $\pm$ 0,65 <sup>a</sup>	4,31 $\pm$ 0,82 <sup>a</sup>	11,33 $\pm$ 0,88 <sup>a</sup>

BT: Biosólido de tilapia.

### Parámetros productivos

Se analizaron los efectos de diferentes tratamientos en el crecimiento de plantas de pepino, evaluando distintas variables como el peso, la longitud y diámetro del fruto, el número de frutos y la biomasa fresca y seca. A continuación, se presenta una descripción de los hallazgos más relevantes de cada tratamiento:

**Tratamiento 1 (Control negativo):** este tratamiento mostró el menor peso (127,90  $\pm$  31,94 g), la menor longitud de fruto (12,95  $\pm$  3,65 cm) y el menor diámetro de fruto (3,75  $\pm$  0,56 mm). Además, presentó el menor número de frutos (1,21  $\pm$  0,41) pero la mayor biomasa fresca (89,81  $\pm$  2,05 g) y biomasa seca (10,19  $\pm$  2,05 g) en comparación con los demás tratamientos.

**Tratamiento 2 (Biosólido de tilapia 6 g):** las plantas en este tratamiento mostraron un peso de 145,49  $\pm$  55,08 g, una longitud de fruto de 14,11  $\pm$  3,86 cm y un diámetro de fruto de 3,99  $\pm$  0,66 mm. El número de frutos fue de 1,57  $\pm$  0,61, la biomasa fresca de 90,02  $\pm$  1,11 g y la biomasa seca de 9,98  $\pm$  1,11 g.

**Tratamiento 3 (Biosólido de tilapia 8 g):** Las plantas en este tratamiento registraron un peso de 153,71  $\pm$  42,39 g, la mayor longitud de fruto 16,11  $\pm$  3,42 cm y un diámetro de fruto de 4,07  $\pm$  0,64 mm. El número de frutos fue de 1,80  $\pm$  0,82, la biomasa fresca de 90,11  $\pm$  1,15 g y la biomasa seca de 9,89  $\pm$  1,15 g.

**Tratamiento 4 (Control químico 7,5 g):** Este tratamiento obtuvo el mayor promedio a diferencia de los demás. Tuvo un peso de  $161,62 \pm 54,72$  g, una longitud de  $16,25 \pm 2,96$  cm y un diámetro de fruto  $4,22 \pm 0,80$  mm. El número de fruto fue  $1,96 \pm 0,86$ , la biomasa fresca de  $89,89 \pm 0,49$  g y la biomasa seca  $10,11 \pm 0,49$  g.

**Tabla 5.** Peso (g), longitud (cm), diámetro (mm) y número de fruto parámetros agronómicos del cultivo de pepino *Cucumis sativus* fertilizados con biosólido de tilapia *Oreochromis sp.* en diferentes dosis. Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para  $p \leq 0,05$ . El signo  $\pm$  muestra el error estándar de la media.

Tratamientos	Dosis	Peso g	Longitud de fruto (cm)	Diámetro de fruto (mm)	Número de fruto
T1	Testigo	$127.90 \pm 31.94$ c	$12.946 \pm 3.646$ c	$3.7512 \pm 0.5576$ c	$1.2100 \pm 0.4094$ d
T2	BT 6 g	$145.49 \pm 55.08$ abc	$14.113 \pm 3.862$ bc	$3.9907 \pm 0.6605$ abc	$1.5700 \pm 0.6073$ bc
T3	BT 8 g	$153.71 \pm 42.39$ ab	$16.113 \pm 3.418$ a	$4.0717 \pm 0.6437$ ab	$1.8000 \pm 0.8165$ ab
T4	NPK 7.5 g	$161.72 \pm 54.72$ a	$16.251 \pm 2.959$ a	$4.2200 \pm 0.7987$ a	$1.9600 \pm 0.8636$ a

BT: Biosólido de tilapia

**Tabla 6.** Biomasa fresca y seca parámetros agronómicos del cultivo de pepino *Cucumis sativus* fertilizados con biosólido de tilapia *Oreochromis sp.* en diferentes dosis. Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para  $p \leq 0,05$ . El signo más menos ( $\pm$ ) muestra el error estándar de la media.

Tratamientos	Descripción	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)
T1	Testigo	$89.809 \pm 2.052$ a	$10.191 \pm 2.052$ a
T2	BT 6 g	$90.023 \pm 1.113$ a	$9.977 \pm 1.113$ a
T3	BT 8 g	$90.107 \pm 1.152$ a	$9.893 \pm 1.152$ a
T4	NPK 7.5 g	$89.888 \pm 0.494$ a	$10.112 \pm 0.494$ a

BT: Biosólido de tilapia

## Producción por hectárea

En cuanto al rendimiento por hectárea en la cosecha precoz, se observaron **diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados**. El tratamiento con biosólidos de tilapia a una dosis de 6 gramos resultó en un rendimiento de  $36.372,5$  Kg/Ha<sup>-1</sup>.

La aplicación de biosólidos de tilapia con una dosis de 8 gramos incrementó aún más el rendimiento, alcanzando los  $38.427,5$  Kg/Ha<sup>-1</sup>.



Las plantas tratadas con fertilizante inorgánico (NPK 7,5 g) registraron un rendimiento de 45.105 Kg/Ha<sup>-1</sup>, siendo el más alto entre todos los tratamientos evaluados. En contraste, las plantas sin aplicación de fertilizantes (testigo) tuvieron el rendimiento más bajo, con 31.975 Kg/Ha<sup>-1</sup> (Figura 1).



Figura 1. Promedios del rendimiento de frutos de pepino *Cucumis sativus* "DARLINGTON" en la cosecha precoz, en función de dosis de biosólidos de tilapia, *Oreochromis sp.* (6 y 8 gramos).

Estos resultados indican que tanto la aplicación de biosólidos de tilapia en dosis de 6 y 8 gramos, así como el uso de fertilizante inorgánico, pueden aumentar significativamente el rendimiento por hectárea en la cosecha precoz en comparación con las plantas sin aplicación de fertilizantes.

Sin embargo, el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento de fertilizante inorgánico, seguido muy de cerca por la aplicación de biosólidos de tilapia a una dosis de 8 gramos.

## Incidencia de enfermedades

Los resultados de la tabla muestran la incidencia de la enfermedad del Mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*) en diferentes tratamientos aplicados. A continuación, se presenta un análisis detallado de estos hallazgos:

**Tratamiento 1 (T1):** se observó que 88 plantas se vieron afectadas por la enfermedad, lo que representa un 14,67 % de incidencia en las plantas. En cuanto a los frutos, 233 fueron afectados, lo que corresponde a un 38,83 % de incidencia en los frutos.

**Tratamiento 2 (T2):** el número de plantas afectadas fue de 71, lo que indica un 11,83 % de incidencia en las plantas. Se registraron 222 frutos afectados, lo que representa un 37 % de incidencia en los frutos.

**Tratamiento 3 (T3):** hubo 74 plantas afectadas, lo que se traduce en un 12,33% de incidencia en las plantas. Se observaron 224 frutos afectados, lo que representa un 37,33 % de incidencia en los frutos.

**Tratamiento 4 (T4):** se observaron 80 plantas afectadas por la enfermedad, lo que indica un 13,33 % de incidencia en las plantas. Se registraron 226 frutos afectados, lo que se traduce en un 37,67% de incidencia. En los resultados se muestra que todos los tratamientos evaluados presentaron incidencia de la enfermedad del Mildiu en las plantas y los frutos.

El Tratamiento 2 (T2) mostró la menor incidencia en las plantas (11,83%) y el Tratamiento 3 (T3) tuvo la menor incidencia en los frutos (37,33%). Por otro lado, el Tratamiento 1 (T1) presentó la mayor incidencia tanto en las plantas (14,67%) como en los frutos (38,83%). Es importante destacar que las diferencias en la incidencia entre los tratamientos no son muy marcadas, lo que sugiere que se requiere un análisis más profundo para determinar la efectividad de los tratamientos en el control de la enfermedad del Mildiu.

Tabla 7. Incidencia de enfermedades de plantas y frutos en cultivo de pepino *Cucumis sativus* fertilizados con biosólidos tilapia *Oreochromis sp.* en diferentes dosis.

Enfermedad	Tratamientos	Dosis	Número de plantas afectadas	Porcentaje de incidencia %	Número de frutos afectadas	Porcentaje de incidencia %
<i>Mildiu (Pseudoperonospora cubensis)</i>	T1	Testigo	88	14,67	233	38,83
	T2	BT 6 g	71	11,83	222	37,00
	T3	BT 8 g	74	12,33	224	37,33
	T4	NPK 7,5 g	80	13,33	226	37,67

BT: Biosólido de tilapia

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio fueron analizados y discutidos, considerando cada variable de manera independiente y en función de los resultados alcanzados. En cuanto los análisis físicos se observó el pH, la humedad y materia orgánica de la muestra se encuentran entre lo especificado (Briceño *et al.*, 2020). En cuanto la conductividad eléctrica obtuvo mayores valores en el biosólido de tilapia, cabe señalar que cada cultivo es capaz de sobrevivir en rangos diferentes de conductividad, dependiendo del tipo de sales que contiene el sustrato, sin embargo, se plantean las siguientes líneas generales: < 500 micromhos/cm, buen desarrollo; 500 - 1000 micromhos/cm, aparecen problemas en algunos cultivos; > 1000 micromhos/cm, hay dificultades en muchos cultivos (Soriano, 2018), (Cremona y Enriquez, 2020).

En cuanto el análisis químico del biosólido de tilapia aplicado al cultivo de pepino se encontró que los metales según sus componentes (Cd, Cu y Pb) y no metales cumplen con las características requeridas (Rodríguez *et al.*, 2018), (Bedoya *et al.*, 2013), (Sánchez *et al.*, 2009). En comparación con ideas interiores el estándar de metales pesados en cadmio es de 1,0 y en el suelo extraído con HCl 0,1 M es 4,0, y el estándar de evaluación de la contaminación por metales pesados en frutas y verduras es 0,11 que es un nivel aceptable (Méndez *et al.*, 2009).

Las características microbiológicas (microorganismos patógenos presentes) en el biosólido de tilapia fueron inferiores verificados con otros análisis (Campos *et al.*,

2013). Debe señalarse que los límites permisibles para los coliformes totales son (1000 NMP/100 mL) y coliformes fecales (100 NMP/100 mL), tanto para uso en piscicultura como en uso agrícola y los límites señalados para protección de la vida acuática (no deben exceder de 200 NMP/100 mL) (Trejo et al., 2021). No obstante, se recomienda precaución en su aplicación como abono en este tipo de cultivo, así como pruebas de laboratorio constantes y monitoreos periódicos para evaluar los niveles de metales pesados (Rodríguez et al., 2018).

La aplicación de residuos o desechos agroindustriales en niveles adecuados y sometidos a procesos de aireación, temperatura, humedad y maduración contribuyen a mejorar la calidad comercial del fruto, aumentando el contenido de agua disponible (Meneses y Quesada, 2018). Además, los biosólidos son fuente de potasio (K), resisten plagas y enfermedades, y participan en la formación de frutos y hojas (Salusso, 2021).

En relación con la variable altura de planta, se encontró que el tratamiento con biosólido de tilapia (8 g) presentó la mayor altura en comparación con el tratamiento con menor dosis (6 g). La altura de las plantas está relacionada con la genética de los materiales y puede ser influenciada por factores exógenos, como los nutrientes (Florez et al., 2021). Es posible que los resultados obtenidos estén relacionados con el efecto del biosólido de la tilapia, que actúan como un biofertilizante de liberación lenta y contribuyen con macro y microelementos que favorecen el desarrollo del cultivo (Kyrkby y Römheld, 2008).

En cuanto al número de hojas, el tratamiento con biosólido de tilapia (8 g) presentó el mayor promedio en comparación con el tratamiento con menor dosis (6 g). Estos resultados podrían estar relacionados con el aporte de nutrientes provenientes de los biosólidos (Madende y Hayes, 2020).

En relación con el número de flores, el tratamiento con biosólido de tilapia (8 g) presentó el mayor número. Esto podría estar relacionado con el aporte de macro y micronutrientes presentes en los biosólidos de origen acuícola, que presentan altas concentraciones de proteína cruda y, al ser degradada, incrementa la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) (Luo et al., 2013).

En lo que respecta al peso de fruto del cultivo de pepino, se encontró que el tratamiento con biosólido de tilapia (8 g) presentó el mayor peso por parcela, mientras que el tratamiento con menor dosis (6 g) obtuvo el menor peso. Estos resultados concuerdan con hallazgos que explican que existe una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes cuando se emplean en dosis controladas (Thi Da *et al.*, 2020).

En cuanto a la variable rendimiento de frutos, el tratamiento T3 (biosólido de tilapia con dosis de 8 g) resultó en el mayor rendimiento, mientras que el tratamiento T2 (biosólido de tilapia con dosis de 6 g) mostró menor rendimiento. La literatura sugiere que la aplicación de biosólidos en cultivos como el pepino puede mejorar el rendimiento al proporcionar nutrientes esenciales (Gutiérrez *et al.*, 2007). Por otro lado, el uso de biosólidos también podría ayudar a reducir la dependencia de fertilizantes químicos, lo que es favorable tanto para el medio ambiente como para la economía (Montoya *et al.*, 2020).

Respecto a la calidad del fruto, el tratamiento T3 (biosólido de tilapia con dosis de 8 g) presentó mejores resultados en términos de peso, longitud y diámetro del fruto en comparación con el tratamiento T2 (biosólido de tilapia con dosis de 6 g). Estos resultados son consistentes con estudios previos que demostraron que la aplicación de biosólidos puede mejorar la calidad de los frutos en diversos cultivos, incluido el pepino (Delgado, 2016).

En la variable de biomasa fresca y seca de la planta de pepino fue el tratamiento T3 biosólido de tilapia con dosis 8 g que obtuvo mayores resultados, en este sentido se comprende los caracteres posiblemente debido al genotipo y tiempo de almacenamiento. El uso experimental de biosólidos de estanques de peces como biofertilizantes aumenta el crecimiento vegetativo y puede ser cosechado en intervalos de semanas como alimento para ganado (Haque *et al.*, 2016). Cabe considerar que la proporción de biomasa asignada a hojas, tallos y raíces en cada momento del desarrollo depende de la cinética de crecimiento y de la tasa de distribución, que están gobernadas por el área foliar, clima y disponibilidad de nutrimentos (Barrientos *et al.*, 2015).

En relación con la incidencia de enfermedades, tanto los tratamientos T1 como T3 y T4 mostraron mayores incidencias similares de mildiu lanoso, lo que sugiere que

la aplicación de biosólidos no tuvo un efecto significativo en la presencia de esta enfermedad. Sin embargo, se ha demostrado que la aplicación de biosólidos puede tener un efecto positivo en la salud de las plantas al aumentar su resistencia a enfermedades y plagas (Leogrande y Vitti, 2019).

Por lo tanto, se utilizaron como efecto controlador AMISTAR® TOP y Lictus™ para reducir la incidencia y gravedad del mildiu (Henríquez et al., 2020). En conclusión, la aplicación de biosólidos de tilapia en el cultivo de pepino mostró resultados prometedores en términos de crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos. Aunque se observaron diferencias en los resultados obtenidos entre los tratamientos con biosólidos de tilapia en dosis de 6 y 8 gramos, es importante tener en cuenta que la calidad y composición de los biosólidos pueden variar según su origen (Chen et al., 2015). Por lo tanto, es esencial realizar un análisis detallado de los biosólidos antes de su aplicación y monitorear constantemente los niveles de metales pesados y patógenos para garantizar su uso seguro y efectivo en la agricultura (Robledo, 2012).

## CONCLUSIÓN

Los biosólidos de tilapia son seguros para aplicar en suelos y se pueden utilizar en distintas dosis controladas. Los análisis de metales pesados del biosólido de tilapia obtuvieron cadmio  $< 0,25$ , plomo  $< 10$  y cobre  $< 50$  estos contenidos son mejores que los abonos inorgánicos.

Los análisis microbiológicos de los biosólidos de tilapia obtuvieron coliformes totales  $< 1,8$  y coliformes fecales  $< 1,8$  de la muestra. Estos valores permitieron conseguir estabilidad en cuanto al estado nutricional del suelo, incluso aportando una mayor presencia de materia orgánica, un mejor intercambio catiónico del suelo y un pH adecuado para el cultivo.

En la variable longitud de planta, a los 40 días, el biosólido de tilapia, en dosis de 8 kg/ha, logró la mayor longitud, en cuanto el número de hojas (a los 30 y 40 días) la fertilización con biosólido tilapia reportó el mayor valor con la dosis de 8 g, en la variable peso del fruto (g) se evidenció que, con la fertilización biosólido de tilapia, en dosis de 8 g, se obtuvo el mayor valor y en el rendimiento de kg por

parcela y kg/ha, el fertilizante de biosólido de tilapia, en dosis de 8 gramos presentó la mayor producción 38.427,5.

El rendimiento del cultivo de pepino *Cucumis sativus* tuvo efecto positivo, generado por la aplicación del biosólido de tilapia; de igual manera se pudo observar que el uso del biosólido de tilapia aplicado se descompone completamente en suelos limosos en cantidades controladas aumentando la fertilidad, por su alto contenido de nutrientes que mejoran las características físicas y fisiológicas del cultivo.

## REFERENCIAS

- Acedo, F., & Elizabeth, Y. (08 de 2019). *Acuicultura de Oreochromis niloticus EN sar y tbf integrada con horticultura hidropónica en sistemas sin recirculación*. [https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1644/4/fimbres\\_y%20TESIS%20versi%C3%B3n%20Espa%C3%B1ol.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1644/4/fimbres_y%20TESIS%20versi%C3%B3n%20Espa%C3%B1ol.pdf)
- Barrientos, L. H., del Castillo, G. C., & García, C. M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 11. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182015000100010&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182015000100010&script=sci_abstract)
- Bedoya, U. K., Acevedo, R. J., Peláez, J. C., & Agudelo, L. S. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Revista de Salud Pública*, 15(5), 13. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642013000500013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642013000500013)
- Briceño, J., Tonato, E., Silva, M., Paredes, M., & Armado, A. (2020). Metal content evaluation in soils and edible tissues of *Allium Fistulosum* L. on crops near the Tungurahua volcano. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.09>
- Campos, P. R., Alonso, L. A., Avalos, d. I., Asiain, H. A., & Reta, M. J. (2013). Physicochemical characterization of a tilapia brackish effluent in aquaponics. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(5), 12.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000900007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000900007)

Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (2015). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology advances*, 33(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>

Colín, C. A., Mulia, M. E., Gomeztagle, H. M., & Moreno, A. J. (1994). Evaluación biológica de los lodos residuales usando frijol (*phaseolus vulgaris*) y haba (*vicia faba*). *CIENCIA Ergo-Sum*, 1(1), 3. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/8057>

Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia(73)*, 4. <https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>

Delgado, L. D. (2016). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos(17)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21501/21454086.1907>

Díaz, M. H., Preciado, R. P., Sánchez, C. E., Esparza, R. J., Fortis, H. M., & Álvarez, R. V. (2018). El potasio en la calidad nutracéutica de frutos de pepino hidropónico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(20), 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.994>

Echevarria, J. R. (2017). Alimentos hipolipemiantes que mejoran la salud cardiovascular. *Revista cubana de cardiología y cirugía cardiovascular*, 23(4). [https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/708/html\\_106](https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/708/html_106)

Fernández, A. (2021). Ensilados químicos y biológicos. Una alternativa de aprovechamiento integral y sustentable de los residuos pesqueros en la Argentina. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 34(2), 28. <https://doi.org/https://doi.org/10.47193/mafis.3422021010603>



- Florez, J. M., Roldán, A. D., Omote, R., S. J., & Molleda, O. A. (2021). Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 17. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>.
- Gallardo, D., & Domínguez, L. (2015). Aplicación de Modelos de Balance de Masa Nutricional para la estimación de descargas en el cultivo de Trucha Arcoíris en ríos de altura del Austro ecuatoriano. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 2(3), 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.26423/rctu.v2i3.62>
- García, M. E., & Fernández, S. I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. ETSIAMN. Universitat Politècnica de València: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16339/Determinaci%C3%B3n%20de%20humedad.pdf>
- González Acosta, J. A. (2012). Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. *Revista Ciencia Animal*, 1(5), 25. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1053&context=ca>
- González, A. J. (2015). Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss Walbaum*, 1792, como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ma\\_est\\_agrociencias](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ma_est_agrociencias)
- Gupta, M. V. (2006). *Cultivo de peces en campos de arroz*. <https://www.fao.org/3/a0823s/a0823s.pdf>
- Gutiérrez, M. F., Santiago, B. J., Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud, A. M., Llaven, M. A., & Dendooven, L. (2007). Lombricompost como complemento del suelo para mejorar el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto del tomate (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*, 98(15). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.032>

- Haque, M. M., Belton, B., Alam, M. M., Ahmed, A. G., & Alam, M. R. (2016). Reuse of fish pond sediments as fertilizer for fodder grass production in Bangladesh: Potential for sustainable intensification and improved nutrition. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.004>
- Henríquez, D. F., Salgado, V. Y., Ramírez, A. M., Reyes, P. J., Rodríguez, P. A., Ruiz, S. M., & Hernández, M. L. (2020). Efecto de Quitomax en el control del mildiú vellosa en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2), 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2479>
- Jácome, J., Quezada Abad, C., Sánchez Romero, O., Pérez, J. E., & Nirchio, M. (2019). Tilapia en Ecuador: paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana. *Revista peruana de biología*, 26(4), 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/rpb.v26i4.16343>
- Kyrkby, E., & Römheld, V. (11 de 09 de 2008). *Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad*. Ecuador: Quito. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/MicronutrientesenlaFisiologia.pdf>
- Leal, M. A., García, G. E., Vázquez, C. O., Hernández, & E., A. (2023). Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 14. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50028>
- Leogrande, R., & Vitti, C. (2019). Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, 33(1), 22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1498038>
- López, E. J., Jiménez, L., Huez, L., Garza, O., Cruz, B., & Bautista, O. (2017). Biological control measures in cucumber production, under greenhouse conditions. *Idesia*, 35(3), 6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000501>
- López, J. M., Marín, R. G., Gaitán, A., & Ángel, C. A. (2018). Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.38141/10779/0498>

- Luo, G. Z., Avnimelech, Y., Pan, Y. F., & Tan, H. X. (2013). Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. *Aquacultural engineering*, 52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.09.003>
- Machuca, G. M. (03 de 2022). *Evaluación de ciclo de vida (ECV) de un biofertilizante a partir de lodos y ensilado de peces*. <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/9783/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20ciclo%20de%20vida%20%28ECV%29%20de%20un%20biofertilizante%20a%20par%20tir%20de%20lodos%20y%20ensilado%20de%20peces.pdf>
- Madende, M., & Hayes, M. (2020). Fish by-product use as biostimulants: An overview of the current state of the art, including relevant legislation and regulations within the EU and USA. *Molecules*, 25(5), 20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules25051122>
- Mazón, S. J., Murillo, A. B., García, B. M., Arcos, O. G., Ruiz, E. F., & Ojeda, S. C. (2022). Efecto de *Natrum muriaticum* sobre la fotosíntesis y la biomasa de plantas de albahaca cultivadas bajo estrés salino (NaCl). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*(28), 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3277>
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A., Gutiérrez, A. D., & García, F. P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 10(1), 17. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Meneses, F. C., & Quesada, R. G. (2018). Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 16. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.28738>.
- Monge, P. J., Chacón, P. K., & Loría, C. M. (2021). Criterios de selección para rendimiento en pepino *Cucumis sativus* cultivado en condiciones de invernadero durante la estación seca. *Cuadernos de Investigación UNED*, 13(1), 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3373>

- Montoya, S. A., Mora, A. M., & Vásquez, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- Naspirán, J. D., Fajardo, R. A., Ueno, F. M., & Collazos, L. L. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., & Troell, M. (2021). KlingeA 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41586-021-03508-0>
- Pérez, M. L., Niño, M. G., Mendoza, C. B., León, G. M., Robles, H. L., & González, F. A. (2016). Incidencia, severidad y detección de virus fitopatógenos en lechuga, en el estado de Querétaro, México. *Acta universitaria*, 26(2), 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2016.842>
- Pixton, S. W. (1967). Moisture content—its significance and measurement in stored products. *Journal of Stored Products Research*, 3(1), 13. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-474X\(67\)90085-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-474X(67)90085-9)
- Preciado, R. P., Reyes, P. J., Ramírez, R. S., Salas, P. L., Fortis, H. M., Murillo, A. B., & Troyo, D. E. (2019). Foliar Aspersion of Salicylic Acid Improves Phenolic and Flavonoid Compounds, and Also the Fruit Yield in Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plants*, 8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3390/plants8020044>
- Rabasso, K. M. (2006). Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. *Vector Plus*, 10. [https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/6671/1/0231633\\_00028\\_0007.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/6671/1/0231633_00028_0007.pdf)
- Ramirez, A. L., Espinoza, M. G., & Ramos, A. R. (2021). Uso de hidrolizados de pescado en la acuicultura: una revisión de algunos resultados beneficiosos en dietas acuícolas. *Manglar*, 18(2), 8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.029>

- Robledo, S. E. (2012). Robledo Santoyo, E. (2012). Manejo y uso de biosólidos en suelos agrícolas. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/1733>
- Rodríguez, F. P., & Girón, A. J. (2021). Producción ecológica de pepino (*cucumis sativus* L.) en las condiciones edafoclimáticas del III Frente. *Ciencia en su PC*, 1(2). <https://www.redalyc.org/journal/1813/181369731006/html/>
- Rodríguez, J. J., Mosqueda, M. C., & Elizarraraz, R. A. (2018). Análisis de biosólidos para su uso agrícola en una hortaliza. *Jóvenes en la Ciencia*, 5. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/articulo/view/2304>
- Salusso, F. A. (24 de 06 de 2021). Efecto del riego con aguas provenientes del tratamiento de efluentes urbanos y de la fertilización con selenio sobre la calidad nutracéutica de brócoli. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/5852>
- Sánchez, M. P., Romero, J. J., Negrete, R. P., López, S. R., & Malpica, S. A. (2009). Aprovechamiento de los ambientes reducidos para la producción de organismos acuáticos susceptibles a cultivo, para el consumo humano. *Veterinaria México*, 40(1), 13. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-50922009000100006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922009000100006)
- Soriano, S. M. (06 de 06 de 2018). Conductividad eléctrica del suelo. Producción Vegetal: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano%20-%20Conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo.pdf?sequence=1>.
- Teuber, N., Salazar, F., Alfaro, M., & Valdebenito, A. (2007). Effect of Different Rates of Cage Salmon Sludge on Potato Crop and its Residual Effect on Annual Ryegrass. *Agricultura Técnica*, 67(4), 8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000400007>
- Thi Da, C., Anh Tu, P., Livsey, J., Tang, V. T., Berg, H., & Manzoni, S. (2020). Improving productivity in integrated fish-vegetable farming systems with recycled fish pond sediments. *Agronomy*, 10(7), 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy10071025>

Trejo, A. R., Flores, I. K., Trujillo, J. P., Granados, R. J., Gómez, M. J., & Sánchez, L. A. (2021). Calidad del agua en estanques de cultivo de peces mediante algunos parámetros físicos y químicos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 20. <https://doi.org/https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-049>



# Aprovechamiento de residuos de la industria del langostino argentino en la elaboración de alimentos balanceados para Tilapia Nilótica: un estudio experimental

Use of waste from the Argentine shrimp industry in the production of balanced feed for Tilapia Nilotica: an experimental study

Damián Luis Castellini<sup>1</sup>, Macarena Campins<sup>2</sup>,  
Nair de los Ángeles Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mar del Plata.  
Grupo de investigación LACUI. Avda. Dorrego 281, Mar del Plata,  
Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Laboratorio de Análisis Industriales, Universidad Tecnológica Nacional.  
Facultad Regional Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), FCEyN, UNMdP-CONICET.  
Laboratorio de Fisiología de Organismos Acuáticos y Biotecnología Aplicada  
(FCEyN). Funes 3250. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

Damián Luis Castellini   damiancastellini@gmail.com

Palabras clave |  
acuicultura,  
hidrolizado,  
tilapia,  
*Pleoticus muelleri*

**RESUMEN** | Dentro del contexto de crecimiento continuo en la producción mundial de pescado, la acuicultura desempeña un papel fundamental, representando casi la mitad del consumo global en 2020. Este estudio se centra en la Tilapia del Nilo, una especie clave en la producción acuícola de América. Se destaca la importancia de optimizar la producción de alimentos balanceados, donde los residuos de langostino emergen como una fuente prometedora. Se propone sustituir con un 4 y 8% de hidrolizado enzimático a la harina de pescado en la dieta de Tilapia. Los resultados obtenidos muestran que las dietas con sustitución no afectaron significativamente el peso y las gónadas de los peces. Se subraya la viabilidad de utilizar estos residuos en la acuicultura, abriendo la puerta a futuras investigaciones sobre el límite óptimo de sustitución.

Keywords |  
aquaculture,  
hydrolyzate,  
tilapia,  
*Pleoticus muelleri*

**ABSTRACT** | Within the context of continued growth in global fish production, aquaculture plays a fundamental role, representing almost half of global consumption in 2020. This study focuses on Nile tilapia, a key species in American aquaculture production. The importance of optimizing the production of balanced feed is highlighted, where shrimp waste emerges as a promising source. It is proposed to replace fish meal with 4 and 8% of enzymatic hydrolysate in the Tilapia diet. The results obtained show that the replacement diets did not significantly affect the weight and gonads of the fish. The viability of using these wastes in aquaculture is highlighted, opening the door to future research on the optimal substitution limit.

## INTRODUCCIÓN

Según las estimaciones de la producción de pescado a nivel mundial, esta crecerá a un ritmo del 1,2% anual durante el periodo 2021-2030, llegando la producción a 201 millones de toneladas (OECD/FAO, 2021). Del pescado que se consume mundialmente la acuicultura aportó en 2020 el 49,2 %, mostrando un crecimiento entre 1990-2020 de 21,8 millones de toneladas a 87,5 millones de toneladas (FAO, 2023). Se espera que la producción de acuicultura aumente un 23% para 2030, a una tasa del 2,0% anual (OECD/FAO, 2021). En América una de las especies más importantes en la producción acuícola es la Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con 464.505 toneladas, representando el 37,7% de la producción de peces de agua dulce en el año 2021 (FAO, 2023). Esta alta producción se debe a la facilidad de manejo, ya que se adapta a todo tipo de cultivo (intensivo o extensivo), soportan altas densidades de cría, es muy resistente a enfermedades y a la manipulación. En Argentina el cultivo de Tilapia alcanzó un máximo de 62,2 toneladas en 2016 (SAGPyA) y muestra un potencial desarrollo de esta actividad en distintas regiones que presentan climas y ambientes favorables para su producción (Carciofi & Rossi, 2021).

Un punto clave en el cultivo de peces es la producción de alimento balanceado, esta área requiere de nuevas tecnologías y materias primas para la obtención de mayores rendimientos, sin excederse en costos, ya que estos pueden llegar a representar hasta 60% del costo total de la producción (Asche et al., 2009). Este importante costo aumento el interés en los residuos de la industria pesquera como una fuente de proteínas y lípidos de alta calidad, ya que genera



la posibilidad de reemplazar la harina y el aceite de pescado en las dietas, ofreciendo así una alternativa más sostenible y económicamente viable (Pereira & Fernández-Giménez 2016; Pereira et al., 2020). Dentro de las especies con las mayores capturas en Argentina encontramos al langostino (*Pleoticus muelleri*), con un 26,3% de los desembarques totales 2022 y una captura total de 208.458 toneladas (SAGPyA). En la industria langostinera los ejemplares se clasifican por tamaño y se comercializan enteros o solo sus colas, este proceso resulta en una gran cantidad de residuos (cabezas, vísceras y exoesqueletos), que pueden representar hasta un 45% del peso total del animal (Zugarramurdi et al., 1998). Estos residuos actualmente no se aprovechan de manera eficiente y son en general depositados en basureros a cielo abierto generando un pasivo ambiental contaminado en donde son depositados (Pereira et al., 2019). Estos residuos pueden ser una fuente de biomoléculas (proteínas, lípidos y pigmentos), a través de un proceso de hidrólisis enzimática y así obtener un hidrolizado proteico (Pereira & Fernández-Giménez, 2016). El producto de la hidrólisis está compuesto por tres fases diferenciadas: una fracción líquida (denominada hidrolizado proteico), una fase sólida proteica y una fracción oleosa, estas pueden incluirse como ingredientes en dietas para especies acuícolas (Kristinsson & Rasco, 2000). Además, una ventaja extra que confiere utilizar estos residuos para obtener hidrolizados es el contenido de carotenoides como la astaxantina (Cretton et al., 2021), la cual al incorporarse mediante la dieta ha mostrado por ejemplo que puede aumentar el desarrollo de los ovarios en la tilapia (Qiang et al., 2022)

El objetivo del presente trabajo fue diseñar y analizar un alimento balanceado para el cultivo de tilapia, sustituyendo un porcentaje de la harina de pescado por un hidrolizado enzimático a partir de desechos de langostino, y evaluar cómo responde frente a un alimento control.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Hidrolizado

Los desechos de langostino (principalmente compuestos por cefalotórax) se obtuvieron en plantas pesqueras de la ciudad de Mar del Plata (Argentina), estos se mantuvieron a -20°C hasta ser utilizados. En la elaboración del hidrolizado, se

empleó la metodología propuesta por Leal et al. (2010), realizando ciertas modificaciones. Los desechos se molieron en agua destilada (2:1 v/v), la mezcla se sometió a una digestión autolítica en un baño termostático a 45°C durante 90 minutos con una ligera agitación. Luego se elevó la temperatura a 100°C por 5 min para la desactivación de las enzimas.

### Alimento balanceado

El alimento fue preparado a través del proceso de peletización, utilizando harinas vegetales, harinas animales y el hidrolizado de residuos de langostino, se dio un diámetro uniforme de 3 mm al pellet (Figura 1). Un alimento experimental de la Universidad Tecnológica Nacional (Waldmann, 2021), se utilizó como dieta control. A partir de su formulación, se diseñaron dos dietas adicionales, las cuales consistieron en sustituir un 4 % y 8 % de la harina de pescado por el hidrolizado proveniente de los residuos de langostino (ver Tabla 1). Las dietas fueron formuladas de manera que mantuvieran un perfil energético, proteico y lipídico similar.



Figura 1. Mezclado de las materias primas y peletización del alimento.

Tabla 1. Formulación y análisis proximal de las dietas ensayadas.

Ingredientes	Dieta control	Dieta 4%	Dieta 8%
Harina de carne y hueso	8,50%	8,50%	8,50%
Harina de pescado	23%	19%	15%
Hidrolizado	--	4%	8%
Harina de soja	30%	30%	30%
Harina de trigo	23%	23%	23%
Aceite vegetal	4,50%	4,50%	4,50%
Almidón	10%	10%	10%
Complejo vitamínico <sup>1</sup>	1%	1%	1%
<b>Proximal</b>			
Proteína	31.2%	30.2%	30.8%
Lípidos	14.9%	15.0%	15.3%
Valor energético (Kcal/100g)	382	380	378

<sup>1</sup>Complejo vitamínico-minerales ROVIMIX® SUPER ACQUA

## Ensayo alimentación

El ensayo se llevó a cabo en un sistema de recirculación cerrada (RAS siglas en inglés) del Laboratorio de Acuicultura de la UTN-Mar del Plata (Figura 2). Para esto se separaron los individuos en tres tratamientos: dieta control, dieta 4% y dieta 8%. Cada tratamiento se realizó por triplicado, sumando un total de nueve tanques. La densidad de individuos en cada tratamiento fue de 25 peces por cada tanque de 250 litros. Las tilapias fueron alimentadas según su tamaño y biomasa siguiendo las recomendaciones planteadas en Alicorp (2003). Al finalizar el ensayo los ejemplares fueron pesados y se separaron 10 hembras por tanque de cada tratamiento, las cuales se sacrificaron y se les extrajo las gónadas para ser pesadas. Luego se realizó un ANOVA para determinar si existían diferencias entre los tratamientos.



Figura 2. Sistema de recirculación cerrada del Laboratorio de Acuicultura de la UTN-Mar del Plata.

## RESULTADOS

El ensayo experimental abarcó un período de 45 días, durante el cual se mantuvo una temperatura constante de  $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) revelaron que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los distintos tratamientos (dietas) en lo que respecta al peso de los individuos y al peso de las gónadas, los valores p obtenidos fueron de 0,395 para el peso y 0,501 para las gónadas. En la Figura 3, se presenta de manera gráfica el análisis detallado de los tratamientos en relación con las variables examinadas.

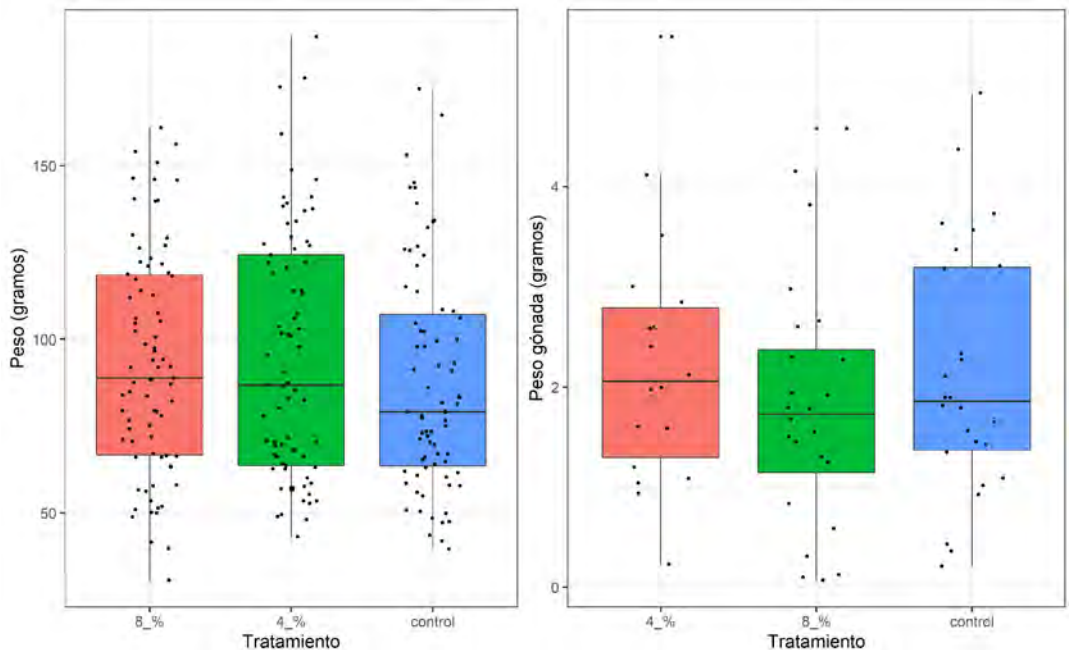


Figura 3. Gráficos “boxplot” de los datos de peso y peso gónadas de los ejemplares en función de los tres tratamientos.

## DISCUSIÓN

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en este trabajo no mostró diferencias significativas para el peso y el peso de gónadas de los ejemplares en relación a los tratamientos (dietas), en lo que respecta al peso otros autores como

Valdez- González et al. (2016) obtuvieron resultados similares en dietas para la tilapia *O. mossambicus* con un hidrolizado proteico de cabezas de camarón como reemplazo de la harina de pescado. En contra parte, Plascencia-Jatomea et al. (2002) probaron la inclusión de distintos porcentajes de hidrolizado de cabezas de camarón en dietas para la Tilapia del Nilo y observaron que con una inclusión del 15% había una mayor ganancia de peso. Por lo mencionado anteriormente, la sustitución de la harina de pescado en las dietas de Tilapia del Nilo en un 4 y 8% no mostraron efectos negativos en la ganancia en peso de los ejemplares, siendo el hidrolizado de residuos de *P. muelleri* una fuente de nutrientes comparable a la harina de pescado. Por otro lado, es posible que no se observen diferencias en el peso de las gónadas ya que la concentración astaxantina en el alimento no esté en un punto que tenga un efecto significativo. En el trabajo de Qiang et al., 2022, utilizando distintas concentraciones de astaxantina como suplemento en el alimento para tilapias hembras observaron que dosis mayores a 150 mg por kilogramo de alimento tenían efectos positivos en el desarrollo y crecimiento de los ovarios. El paso a seguir en futuros ensayos será evaluar cuanto hidrolizado de residuos de langostino se pueden incluir en la dieta sin perder valor nutritivo y que concentraciones de astaxantina aporta este al alimento.

## CONCLUSIONES

Según los resultados del ANOVA no se encontraron diferencias significativas en el peso y peso de gónadas de los ejemplares en función de las diferentes dietas utilizadas. Esto sugiere que, las dietas con la sustitución de la harina de pescado por hidrolizado de cabezas de langostino mostraron un desempeño muy satisfactorio en relación a la dieta control. Dando preliminarmente la opción de realizar un alimento que aprovecha los desechos de una importante industria en nuestro país. Queda como siguiente paso evaluar cuál es el límite de sustitución por hidrolizado que mantenga las propiedades nutritivas semejantes al alimento control.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado en el marco de una Beca posdoctoral financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## REFERENCIAS

Alicorp S.A. (2003). Manual de crianza de Tilapia. Lima. Perú. 49pp.

Asche, F., Roll, K. H., Tveteras, R. (2009). Economic inefficiency and environmental impact: An application to aquaculture production. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(1), 93-105.

Carciofi, I., & Rossi, L. (2021). Acuicultura en Argentina: red de actores, procesos de producción y espacios para el agregado de valor. búsqueda del impulso exportador para los productos acuícolas. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación, ISSN, 2718-8124.

Cretton, M., Malanga, G., Mazzuca Sobczuk, T., & Mazzuca, M. (2021). Lipid fraction from industrial crustacean waste and its potential as a supplement for the feed industry: a case study in Argentine patagonia. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 2311-2319.

FAO. 2023. Estadísticas de pesca y acuicultura. Producción mundial de acuicultura 1950-2021 (FishStatJ). In: FAO División de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. Actualización 2021. [www.fao.org/fishery/es/statistics/software/fishstatj](http://www.fao.org/fishery/es/statistics/software/fishstatj)

Kristinsson, H.G., Rasco, B.A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 40: 43-81. doi: 10.1080/10408690091189266

Leal, A. L. G., Castro, P. F., Lima, J. P. V., Souza Correia, E., & Souza Bezerra, R. (2010). Use of shrimp protein hydrolysate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) feeds. *Aquaculture International*, 18(4), 635– 646.

- OECD/FAO (2021). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030. OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>.
- Pereira N., Fernández-Gimenez, A. V. (2016). Revalorización de subproductos de la pesca. Estado Actual en Argentina y otros países de América Latina. Verlag Editorial Académica Española. Berlín; Año: 2016 p. 73. ISSN:978-3-639- 47748-1.
- Pereira N., Haran, N., Rodríguez Y. E., Fernández Gimenez A. V. (2020). Propuesta de un desarrollo industrial sustentable post covid19: Coagulante lácteo a partir de la utilización de restos del procesamiento de especies pesqueras comerciales mediante tecnología verde Lugar: Riga, p. 77.
- Pereira, N. De Los A.; Rodriguez, Y. E.; Garbari, M. D. (2019) Obtención de enzimas de interés industrial a partir de los desechos del langostino argentino comercial *Pleoticus muelleri*. República de Mauricio: Editorial Académica Española. 68pp.
- Plascencia-Jatomea, M., Olvera-Novoa, M. A., Arredondo-Figueroa, J. L., Hall, G. M., Shirai, K. (2002). Feasibility of fishmeal replacement by shrimp head silage protein hydrolysate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L) diets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(7), 753-759.
- Qiang, J., Tao, Y. F., Lu, S. Q., Ma, J. L., He, J., & Xu, P. (2022). Role of Astaxanthin as a Stimulator of Ovarian Development in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Its Potential Regulatory Mechanism: Ameliorating Oxidative Stress and Apoptosis. *Aquaculture Nutrition*, 2022.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGPyA). (2023). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/agricultura/pesca-y-acuicultura>
- Valdez-González, F.J., García-Ulloa, M., Hernández-Llamas, A. et al. (2016). Effect of shrimp head silage hydrolysate and distiller's dried corn grain on digestibility and growth of red tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Animal Nutrition and Feed Technology*, 16.



Waldmann, P. (2021). Desarrollo de un alimento funcional a partir de la inclusión de chía (*Salvia hispanica*) y lino (*Linum usitatissimum*) en formulaciones dietarias de tilapia (*Oreochromis niloticus*) para el mejoramiento del perfil de ácidos grasos omega-3 en el filete. Tesis Maestría. Università Degli Studi di Parma; Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. 52 p.


Zugarramurdi, A., Parin, M.A., Lupín, H. M. (1998). Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera (Vol. 351). FAO Documento Técnico de Pesca. Roma, 268p.



# Sustitución de harina de pescado por proteína de soya en alimentos para camarón utilizando hidrolizado de krill (OlyPep®) como estimulante del apetito

Replacement of fishmeal with soybean protein in shrimp feeds using krill protein hydrolysate (OlyPep®) as a taste enhancer

Julio López Alvarado, Karl Erik Slinning  
1Rimfost AS, Notenesgata 6, 6002 Alesund,  
Norway

Correspondencia Julio López Alvarado   
[✉ julio.lopez.alvarado@rimfrostgroup.com](mailto:julio.lopez.alvarado@rimfrostgroup.com)

Palabras clave |  
estimulantes de apetito,  
alimentos para  
camarón,  
hidrolizado de krill,

Keywords |  
taste enhancers,  
shrimp feeds,  
krill hydrolysate

RESUMEN | En el presente estudio, sustituimos el 80 % de la harina de pescado con proteína de soya, y añadimos hidrolizado de krill para mejorar la palatabilidad de las dietas. Los resultados mostraron que los camarones alimentados con hidrolizado de krill tuvieron un crecimiento y tasa de conversión similares al grupo de control con harina de pescado, y significativamente mejores que el grupo alimentado con dietas bajas en harina de pescado sin hidrolizado de krill.

ABSTRACT | The aim of the present study was to assess the effect of OlyPep®, a krill protein hydrolysate produced by Rimfrost AS, on the feed intake and growth of whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei*, during the grow out period. A feed with 15 % fishmeal was used as a control. In the experimental feeds, 80 % of the fishmeal was replaced with soybean protein concentrate, with or without krill hydrolysate.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio fue ver el efecto de un hidrolizado de krill (OlyPep, OP) producido por Rimfrost AS, en la ingesta y crecimiento de camarón (*Penaeus vannamei*) durante el periodo de crecimiento. La harina de pescado es un ingrediente relativamente caro y escaso. Sustituir harina de pescado con otras fuentes de proteína permite reducir los costes y la dependencia de la harina de pescado. Sin embargo, los resultados zootécnicos al utilizar alimentos con niveles bajos de harina de pescado suelen ser peores que con niveles más altos de harina de pescado, aumentando el índice de conversión, y en ocasiones empeorando el crecimiento. Las razones de esta disminución en el desempeño de los alimentos con baja harina de pescado son múltiples, pero una de las principales razones es la palatabilidad del alimento. El krill es un ingrediente que ha demostrado una alta palatabilidad en alimentos para animales acuáticos. En el presente estudio, sustituimos el 80 % de la harina de pescado con proteína de soya, y añadimos hidrolizado de krill para mejorar la palatabilidad de las dietas. Los resultados mostraron que los camarones alimentados con hidrolizado de krill tuvieron un crecimiento y tasa de conversión similares al grupo de control con harina de pescado, y significativamente mejores que el grupo alimentado con dietas bajas en harina de pescado sin hidrolizado de krill.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Juveniles de camarón blanco, (*Penaeus vannamei*) con 3.4 g de peso inicial se repartieron en tanque (4 réplicas por tratamiento) con agua de mar en recirculación, temperatura 27 grados C, y oxígeno disuelto > 5 ppm. La composición de las dietas experimentales se presenta en la tabla 1:

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales utilizadas en la prueba.

## Basal diets for the treatments

Raw Material (%)	PosCtrl (RIM01)	NegCtrl (RIM02)	NegCtrl + 1-3 % OP
OlyPep	0.00	0.00	1-3
Fish meal	15.00	3.00	3.00
Corn Gluten meal	10.00	15.00	15.00
Soybean Concentrate (Soycomil P)	6.00	13.00	13.00
Wheat meal	34.16	30.66	30.66

Se utilizó una dieta de control, con 15 % de harina de pescado, y otra dieta de control negativo, en la que se sustituyó el 80 % de la harina de pescado por proteína de soya. Los otros 3 tratamientos experimentales fueron dietas basadas en el control negativo (baja harina de pescado) complementadas con 1, 2 o 3 % de hidrolizado de proteína de krill.

La figura 1 muestra la composición del hidrolizado de krill. Este está compuesto en su totalidad por péptidos de cadena corta, con pesos moleculares entre 200 y 10.000 dalton.

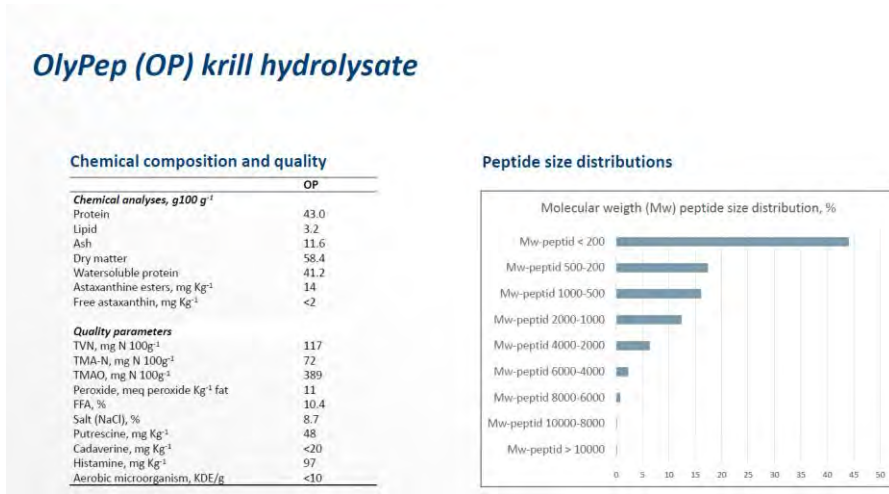


Figura 1. Composición y características del hidrolizado de krill.

La prueba de engorde duro seis semanas, con muestreos semanales de peso. Al final de la prueba se realizó una prueba de estrés osmótico, sometiendo a los camarones a agua de 0 ppt de salinidad por un periodo de hasta 12 horas, observando la mortalidad.

## RESULTADOS

La figura 2 muestra la tasa de crecimiento de los camarones alimentados con las distintas dietas.

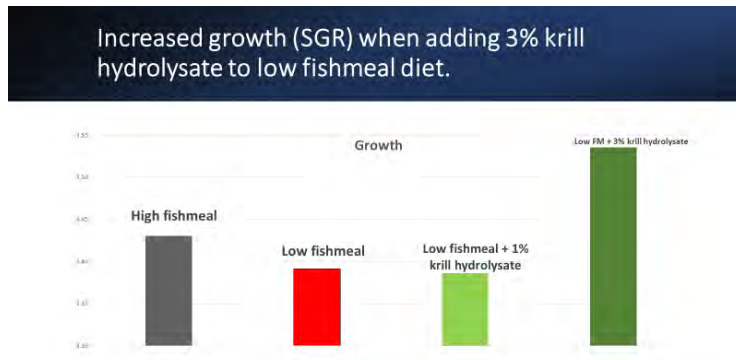


Figura 2. Crecimiento de camarón blanco alimentado con dietas bajas en harina de pescado suplementadas con hidrolizado de krill.

El grupo de control, alimentado con una dieta alta en harina de pescado, tuvo una tasa de crecimiento (SGR) de 3.43. La tasa de crecimiento sufrió un descenso con la dieta baja en harina de pescado (3.39). Añadiendo un 1 o un 2 % de hidrolizado de krill, la tasa de crecimiento no mejoró significativamente. Sin embargo, al añadir 3 % de hidrolizado de krill, la dieta baja en harina de pescado obtuvo resultados de crecimiento mejores que el control alto en harina de pescado. La figura 3 muestra los resultados de índice de conversión del alimento.

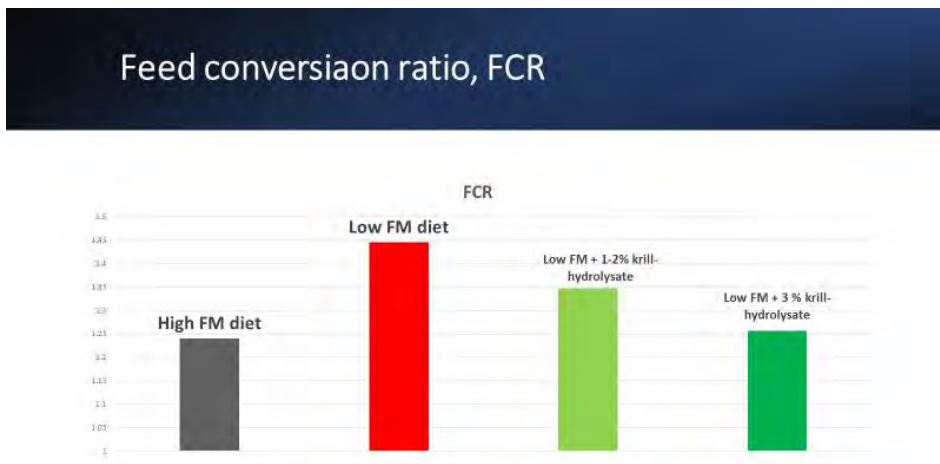


Figura 3. Tasas de conversión de alimento de camarones alimentados con dietas bajas en harina de pescado, con o sin suplemento de hidrolizado de krill.

El grupo alimentado con la dieta alta en harina de pescado tuvo una conversión baja (FCR 1.24). Al sustituir un 80 % de la harina de pescado con proteína de soya, la tasa de conversión aumento a 1.44. Sin embargo, al añadir 1 o 2 % de hidrolizado de krill, la tasa de conversión bajo a 1.34, y al añadir 3 % de hidrolizado de krill, la tasa de conversión baja al mismo nivel que el grupo de control, con niveles altos de harina de pescado. El hidrolizado de krill no solo mejoro el crecimiento y la tasa de conversión de alimento, también mejoro la supervivencia en un desafío de estrés osmótico (figura 4).

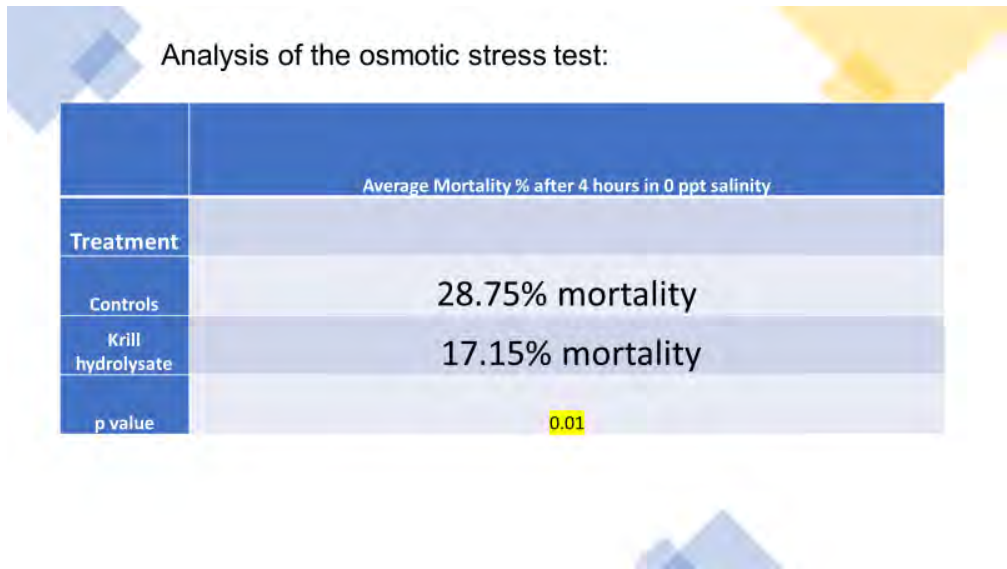


Figura 4. Supervivencia de camarón sometido a estrés osmótico.

Después de 4 horas de estrés osmótico a 0 ppt, la mortalidad en los grupos de control (sin hidrolizado de krill) fue de casi un 29 %, comparado con solo un 17 % para los grupos alimentados con hidrolizado de krill. Esto supone una reducción de mortalidad de un 40% en estas condiciones de estrés osmótico.

## DISCUSIÓN

Los resultados de la presente experiencia son un hito en el avance para la sustitución de harina de pescado en alimentos para camarón. Sustituyendo un 80 % de la harina de pescado con proteína de soya obtuvimos mejores resultados de crecimiento y conversión que con el control de harina de pescado, y mejor supervivencia al estrés osmótico. La sustitución de la harina de pescado por otras proteínas vegetales como la proteína de soya, permitirá a los fabricantes de alimentos una mayor flexibilidad en la formulación, produciendo alimentos más baratos y con el mismo desempeño que alimentos con harina de pescado. Esto también ayudara a aumentar la sostenibilidad de la acuicultura, y a aumentar la producción de alimentos sin depender de la harina de pescado. Con los precios actuales de la harina de pescado, el uso del hidrolizado de krill es una solución

efectiva y económica. Para el camaronero, el uso de alimentos con hidrolizado de krill también aporta una serie de ventajas: una menor tasa de conversión significa menor uso de alimento, menos contaminación en el fondo de las piscinas, y camarones más sanos y con menos riesgos de infecciones, además de tener una mejor resistencia al estrés, que puede mejorar el manejo de las piscinas en épocas de baja salinidad.

## CONCLUSIONES

Se puede sustituir un 80 % de la harina de pescado en alimentos para camarón, y añadiendo un 3 % de hidrolizado de krill se pueden obtener mejores resultados: mejor crecimiento, mejor conversión, mejor supervivencia y resistencia al estrés.

## REFERENCIAS

- Albrektsen S. y Romarheim O.H., "OlyPep® krill hydrolysate as a feed intake and growth stimulant in Atlantic salmon smolt feed. Confidential Report K-51/2020," Tromsø, Jul. 2020.
- Hou Y., Wu Z., Dai Z., Wang G., Wu G., "Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance," *Journal of Animal Science and Biotechnology*, vol. 8, no. 1. BioMed Central Ltd., Mar. 07, 2017. doi: 10.1186/s40104-017-0153-9.
- Kaur K., Kortner T.M., Benitez-Santana T., Burri L., "Effects of Antarctic Krill Products on Feed Intake, Growth Performance, Fillet Quality, and Health in Salmonids," *Aquac Nutr*, vol. 2022, pp. 1–14, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/3170854.
- López-Alvarado J., Kanazawa A., "Effect of dietary protein sources in microdiets on feeding behavior and growth of red sea bream, *Pagrus major*, during weaning and metamorphosis," *Journal of Applied Aquaculture*, vol. 7, no. 3, pp. 53–66, 1997.



Shimizu C., Ibrahim A., Tokoro T., Shirakawa Y., "Feeding stimulation in sea bream, *Pagrus major*, fed diets supplemented with Antarctic krill meals," *Aquaculture*, vol. 89, no. 1, pp. 43–53, 1990, doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90232-C](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90232-C).



## Fostering fish welfare for the future of aquaculture sustainability

### Fomentar el bienestar de los peces para el futuro la sostenibilidad de la acuicultura

Fatimazahra Jouga<sup>1</sup>, Souraya Sakoui<sup>1</sup>,  
Reda Derdak<sup>1, 2</sup>, Manuel Rey-Méndez<sup>3</sup>,  
Abdelaziz Soukri<sup>1</sup>, Bouchra El khalfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Health and Biotechnology Research Centre, Hassan II University of Casablanca, Maarif B.P 5366, Casablanca, Morocco.

<sup>2</sup> Department of Biology, Faculty of Sciences El Jadida, Chouaib Doukkali University, B.P 20, El Jadida 24000, Morocco

<sup>3</sup> Laboratory of Molecular Systematics, Department of Biochemistry & Molecular Biology, Faculty of Biology/CIBUS & Institute of Aquaculture, University of Santiago de Compostela, Spain.

Correspondencia Fatimazahra Jouga  [jougafatimazahra@gmail.com](mailto:jougafatimazahra@gmail.com)

Keywords |  
Aquaculture,  
sustainability,  
fish welfare,  
aquatic food.

**ABSTRACT** | Recently, the consumption of farmed sea food has significantly expanded owing to developments in aquaculture industry. Its production growth has surpassed all other agricultural sectors worldwide and henceforward, it is expected to become the main industry providing aquatic products to human beings. In order to meet the projected demand for seafood, farmers resort to culture intensification which usually enhances the vulnerability of cultivated aquatic species owing to overdrawing stressors and thus magnifying the risk of various diseases. For these reasons, in recent years, fish welfare which is defined as the state of the animal as regards its attempts to cope with its environment has become an important issue in various aquaculture systems and has received increasing attention from fish farmers, authorities, scientists and consumers as it has direct implications for their production as well as for the sustainability of the whole industry. In this context, this bibliographic paper aims to provide insight on the positive correlation between higher fish welfare and aquaculture sustainability in terms of improving food safety standards, ensuring a healthy environment as well as the preservation of local ecosystems

Palabras clave |  
Acuicultura,  
sostenibilidad,  
bienestar de los peces,  
alimento acuático.

RESUMEN | Recientemente, el consumo de productos del mar cultivados se ha ampliado significativamente debido a los avances en la industria de la acuicultura. El crecimiento de su producción ha superado a todos los demás sectores agrícolas del mundo y, de ahora en adelante, se espera que se convierta en la principal industria que proporcione productos acuáticos a los seres humanos. Para satisfacer la demanda proyectada de productos del mar, los agricultores recurren a la intensificación del cultivo, lo que generalmente aumenta la vulnerabilidad de las especies acuáticas cultivadas debido a factores estresantes excesivos y, por lo tanto, magnifica el riesgo de diversas enfermedades. Por estas razones, en los últimos años, el bienestar de los peces, que se define como el estado del animal en lo que respecta a sus intentos de afrontar su entorno, se ha convertido en una cuestión importante en diversos sistemas de acuicultura y ha recibido una atención cada vez mayor por parte de los piscicultores, las autoridades, los científicos y consumidores, ya que tiene implicaciones directas para su producción, así como para la sostenibilidad de toda la industria. En este contexto, este artículo bibliográfico tiene como objetivo proporcionar información sobre la correlación positiva entre un mayor bienestar de los peces y la sostenibilidad de la acuicultura en términos de mejorar los estándares de seguridad alimentaria, garantizar un medio ambiente saludable y la preservación de los ecosistemas locales.

## INTRODUCCIÓN

Recently, owing to the developments in aquaculture industry, global consumption of farmed sea food has significantly expanded (figure1). Because of the increasing global population that is expected to reach 9.7 billion by 2050, aquaculture production will need to reach 93.6 million tons in 2030 and 140 million tons in 2050 in order to meet the projected demand for seafood (FAO, 2022).

To achieve this objective, farmers resort to culture intensification which usually enhances the vulnerability of cultivated aquatic species. However, the culture of aquatic animal with a high nutritional quality has become of considerable interest for the farming industry and consumers. For these reasons, recently, aquatic animal

welfare is a new concept that has become an important issue as it has direct implications for their production as well as for the sustainability of the whole industry (Segner et al., 2019).

In this context, this bibliographic paper aims to provide insight on the positive correlation between higher fish welfare and aquaculture sustainability in terms of improving food safety standards, ensuring a healthy environment as well as the preservation of local ecosystems.

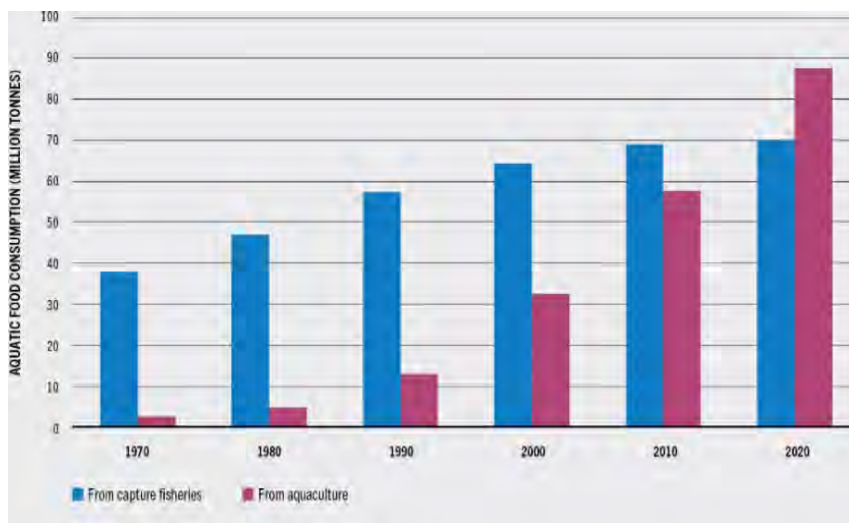


Figure 1. Aquaculture industry

### The concept of fish welfare

According to The World Organization for Animal Health (OIE), animal welfare is defined by the way in which an animal copes with the conditions in which it lives (Martin Cooke., 2016). Generally, there are three broad approaches for defining fish welfare: function-based, nature-based, and feelings-based approaches (Zhang et al., 2023). An animal is in a good state of welfare if it is healthy, comfortable, well nourished, safe, able to express innate behavior, and not suffering from unpleasant states such as pain, fear, and distress (Martin Cooke., 2016).

## Aquaculture practices to insure fish welfare

Welfare can be improved by the monitoring of various critical factors related to aquaculture systems, these include the selection and breeding of fishes, their feeding and nutrition depending of the fish species that are reared, the management of the husbandry practices namely; water quality, stocking densities, the management activities such as size grading and transferring of fish and the deployment of anti-predator measures. Also, the responsible and prudent use of antimicrobial is of great importance for the protection of both aquatic animal and human's health (figure 2) (Martin Cooke, 2016).

Among the most promising method suggested to enhance welfare aspects is environmental enrichment (EE) which provides new sensorial and motor stimulations to help captive fish to meet with their environmental needs. These include structural enrichment, dietary enrichment, sensorial enrichment, social enrichment and cognitive enrichment (Arechavala-Lope *et al.*, 2022).

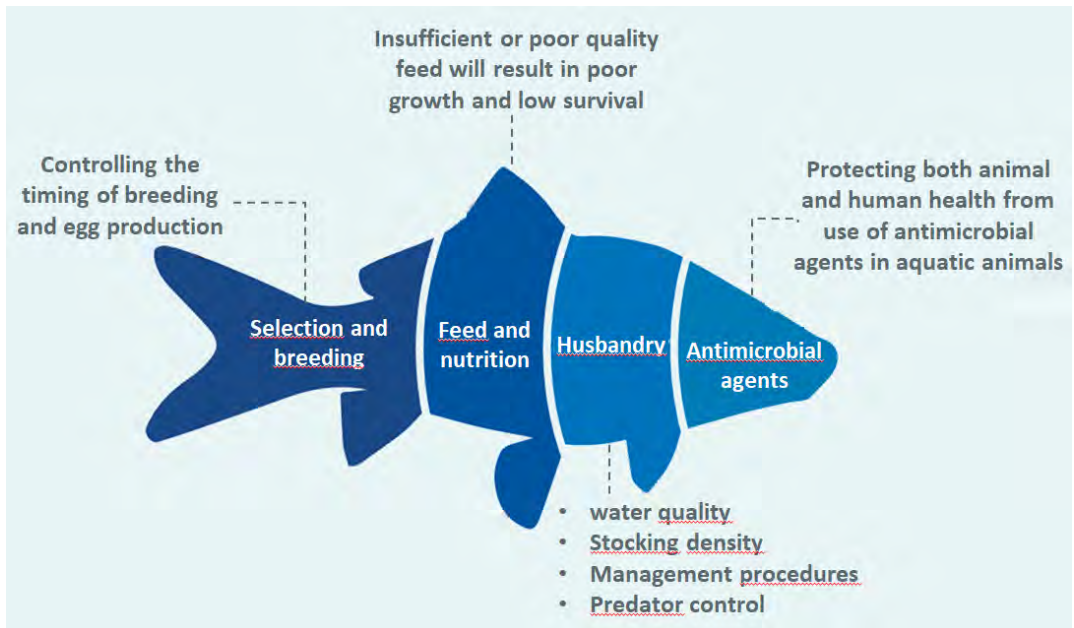


Figure 2. Aquaculture practices to insure fish welfare

## The importance of fish welfare for aquaculture sustainability

Fish welfare has direct implications for the production and sustainability of the whole aquaculture industry (figure 3). Fish reared under high welfare conditions are less stressed and less exposed to infectious diseases, thereby require less medication, show better survival rates and subsequently increase farm efficiency and ensure a better-quality and safe product (Segner *et al.*, 2019). Furthermore, fish welfare provides healthy ecosystems, they help in the conservation of local species and may reduce wild-caught fish.



Figure 3. The potential benefits of a good welfare in the sustainability of aquaculture

## CONCLUSION

Aquaculture is another context where fish welfare has received increasing attention in recent decades. Good welfare conditions involve positive measures such as joy, pleasure and the absence of negative factors including fear, stress, injuries and diseases. By meeting their behavioral, physiological, morphological, and psychological needs and expectations, fish are less stressed and less susceptible to diseases, they require less medication and treatments which helps to improve the product quality and potentially the profitability and henceforward the sustainability of the whole aquaculture sustainability.

## REFERENCES

- Arechavala-Lopez, P., Cabrera-Álvarez, M. J., Maia, C. M., & Saraiva, J. L. (2022). Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*, 14(2): 704-728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
- FAO (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Martin Cooke. *Animal Welfare in Farmed Fish*. BFAW Investor Briefing. March 2016
- Segner, H., Reiser, S., Ruane, N., Rösch, R., Steinhagen, D., & Vehanen, T. (2019). Welfare of fishes in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular: No. 1189*. Budapest, FAO.
- Zhang, Z., Lin, W., Li, Y., Yuan, X., He, X., Zhao, H., Mo, J., Lin, J., Yang, L., Liang, B., Zhang, X., & Liu, W. (2023). Physical enrichment for improving welfare in fish aquaculture and fitness of stocking fish: A review of fundamentals, mechanisms and applications. *Aquaculture*. 574. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739651>.



# Tecnología en explotación y cultivo



# Rendimiento en la producción de cinco variedades de tomate cherry *Solanum lycopersicum*, a partir de los nutrientes aportados por carpas (*Cyprinus carpio* en un sistema acuapónico

Performance in the production of five varieties of cherry tomato *Solanum lycopersicum*, from the nutrients provided by carp *Cyprinus carpio* in an aquaponic system

David C. Casimiro Bonifacio<sup>1</sup>, Aldo J. Alarcón<sup>2</sup>,  
Romina B. Baggio<sup>1</sup>, Silvana Guerrero<sup>2</sup>,  
Laura S. López Greco<sup>3</sup>, Andrea D. Tombari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Contaminación Ambiental (CIT Río Negro-CONICET),  
Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro,  
Rotonda Cooperación y RP N° 1, 8500  
Viedma, Argentina,

<sup>2</sup>Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Valle Inferior del Río Negro.  
RN N° 3 km 971, Camino 4 IDEVI Viedma. 8500.  
Río Negro, Argentina,

<sup>3</sup>Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA) (UBA-  
CONICET), Laboratorio de Biología de la Reproducción y el Crecimiento de  
Crustáceos Decápodos, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental,  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA),  
Ciudad Universitaria, C1428EGA - Buenos Aires, Argentina.

Andrea D. Tombari  [atombari@unrn.edu.ar](mailto:atombari@unrn.edu.ar)

Palabras clave |  
acuaponía,  
tomate cherry,  
*Cyprinus carpio*,  
seguridad alimentaria

RESUMEN | La Acuaponía es una técnica que combina hidroponía y acuicultura. En este sistema los desechos generados por los peces son aprovechados por las plantas y transformados en materia orgánica vegetal. En los últimos años, el desafío por producir hortalizas libres de pesticidas y fertilizantes artificiales, sumado a la promoción de la economía circular, han permitido un avance y difusión de las técnicas acuapónicas y en la diversificación de los vegetales y organismos acuáticos empleados. Por lo antes mencionado, el objetivo del

trabajo es evaluar el rendimiento productivo de cinco variedades de tomate cherry *Solanum lycopersicum* en un sistema acuapónico, con carpa *Cyprinus carpio*. El estudio fue realizado en un invernáculo del INTA Valle Inferior, Viedma (40° 48' S; 63° 05' W). El ensayo constaba de un estanque de 1m<sup>3</sup> con flujo de agua ininterrumpido y constante, conectado a un decantador, un sedimentador y un filtro biológico. El modelo hidropónico utilizado en el sistema fue el de balsa flotante con piedra puzolana como sustrato inerte. Las variedades de tomate cherry empleadas fueron: kumato, amarillo, chocolate, brasil y green, y se utilizaron carpas como organismos acuáticos. De las 5 variedades de *S. lycopersicum*, las que presentaron mayor crecimiento fueron: amarillo, seguida por chocolate y kumato. Los peces presentaron un aumento del peso del 467,03% con la dieta suministrada. Considerando que el alimento recibido por los peces fue la única fuente de ingreso de nutrientes para el sistema, podemos inferir que con 9,60 kg de alimento para peces, se pudo producir 25,95 kg de alimento a escala familiar, es decir 20,10 kg de tomate junto con 5,85 kg de pescado. Este ensayo, es el primero en la región que permite aprovechar un recurso exótico y desaprovechado como la carpa, para obtener proteínas de origen animal y vegetales para el consumo humano.

Keywords |  
aquaponics,  
cherry tomato,  
*Cyprinus carpio*,  
food safety

**ABSTRACT** | Aquaponics is a technique that combines hydroponics and aquaculture. In this system, wastes generated by the fish are used by plants and transformed into organic plant matter. In recent years, the challenge of producing vegetables free of pesticides and artificial fertilizers and the promotion of the circular economy have allowed the advancement and dissemination of aquaponic techniques together with the diversification of vegetables and aquatic organisms used. Due to the aforementioned, the objective of this work is to evaluate the productive performance of five varieties of cherry tomato *Solanum lycopersicum* in an aquaponic system, with carp *Cyprinus carpio*. The study was carried out in a greenhouse at INTA Valle Inferior, Viedma (40° 48' S; 63° 05' W). The test consisted of a 1m<sup>3</sup> pond with an uninterrupted and constant flow of water, connected to a decanter, a settler and a biological filter. The hydroponic model used in the system was a floating raft with pozzolana stone as an inert substrate. The cherry tomato varieties used were:

kumato; yellow; chocolate; brazil and green and carp were used as aquatic organism. Of the 5 varieties of *S. lycopersicum*, the yellow variety showed the greatest growth, followed by chocolate and kumato. The fish showed a weight increase of 467.03% with the diet supplied. Considering that the food received by the fish was the only source of nutrient input for the system, we can infer that with 9.60 kg of fish food, 25.95 kg of family food could be produced, involving 20.10 kg of tomatoes plus 5.85 kg of fish. This trial is the first in the region that makes it possible to take advantage of an exotic and underutilized resource such as carp, to obtain animal and vegetable proteins for human consumption.

## INTRODUCCIÓN

La pandemia por COVID-19 desencadenó una nueva crisis en la seguridad alimentaria; se estima que casi una décima parte de la población mundial sufrió hambre crónica durante 2020. Esta crisis sanitaria dejó en evidencia problemáticas estructurales relacionados a la provisión de alimentos, tal como lo señala la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (FIDA), el Programa Mundial de Alimentos (PMA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Si bien hubo datos alentadores para 2021, en 2022 se desató otro factor que afecta la seguridad alimentaria y la problemática mundial sobre disponibilidad de alimentos, como son el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania (Carciofi *et al.*, 2022) y el actual enfrentamiento entre Israel y Palestina. Sin ir más lejos, países como Argentina que sufren una importante inflación en el precio de los alimentos, afectan principalmente en las familias pobres quienes destinan la mayor parte de sus ingresos a la compra de los mismos (AMIS, 2022).

Las problemáticas globales antes mencionadas, sumadas a la escasez de alimento, disminución de la producción pesquera y la necesidad de proteína barata de alta calidad, han permitido que la acuicultura se considere una industria en crecimiento ya que actualmente produce cerca de la mitad del suministro total de pescado comestible. Por otro lado, las técnicas de cultivo agrícolas tradicionales no hacen uso responsable de los recursos, atentando

contra la seguridad alimentaria de los consumidores. Las cosechas se han incrementado a costa de un mayor uso de plaguicidas y fertilizantes, lo que constituye una amenaza para la salud humana y para el ecosistema. (Hernández Perez, 2011). En este sentido, la acuaponía es una actividad donde el ambiente y la producción van de la mano, garantizando la seguridad alimentaria (Gorosito et al., 2016) y además resulta una opción atractiva para lograr una producción de alimentos, siguiendo los principios del reuso de aguas residuales, e integrando sistemas agrícolas con acuícolas (Diver, 2006).

La Acuaponía es una técnica que combina hidroponía y acuicultura, y se basa en un sistema que cultiva plantas en agua de acuicultura recirculada. En este sistema, los desechos generados por los peces son aprovechados por las plantas y transformados en materia orgánica vegetal. Un componente extra presente en el sistema, son las colonias de bacterias que realizan dos funciones: degradar los compuestos nitrogenados en su forma tóxica para los peces (amonio y nitritos), y proveer de nutrientes a las plantas, gracias a la transformación que realizan las bacterias de amonio y nitritos, a nitratos. La acuaponía presenta varias ventajas sobre los sistemas convencionales de producción hortícola y piscícola, reduciendo la cantidad de agua por su reutilización, reduciendo los costos de operación por acarreo de agua, evitando la dependencia del suelo y disminuyendo el uso de fertilizantes (Diver, 2006). Su práctica más amplia es en la agricultura sostenible, especialmente a escala familiar y en lugares donde la agricultura basada en el suelo es difícil o imposible. Si bien los principios de la acuaponía se han aplicado desde tiempos antiguos, los antecedentes en nuestro país son escasos y en su mayoría se limitan a la tilapia, como organismo acuático proveedor de nutrientes y a la lechuga como destinataria de los mismos. La acuaponía representa no sólo una fuente completa de alimentos de alta calidad, sino también una oportunidad para mejorar las condiciones socioeconómicas, contribuyendo a la vez con la seguridad alimentaria (Mercado Albarran et al., 2019). La agricultura "sin suelo" es uno de los aspectos de mayor crecimiento científico, económico y tecnológico dentro de la agricultura en los últimos 200 años. A nivel global, predominantemente en naciones desarrolladas, hay una mayor demanda por productos fuera de temporada y de alto valor (FAO, 2014).

Por otro lado, en su mayoría los sistemas acuapónicos emplean alimento comercial peletizado para la alimentación de los peces, lo cual incrementa

sustancialmente los costos de producción, representando entre el 70 y 80% de los costos totales (Mercado Albarran *et al.*, 2019). Los peces se encuentran entre los animales de cultivo más eficientes, en lo que respecta a la conversión alimenticia, pero todavía hay una cantidad considerable de desperdicio de nutrientes asociados con el pescado (Heinen *et al.*, 1996; Rafiee *et al.*, 2005). Por ello, resulta fundamental la elección de la especie a cultivar, de manera de equilibrar la relación costo/beneficio de su producción.

El cultivo de Cyprínidos (carpas), de origen asiático, ha sido practicado por siglos en los continentes europeo y asiático. Las carpas (*Cyprinus carpio* - Linnaeus, 1758) necesitan al menos 18°C de temperatura como mínimo para crecer y pueden tolerar hasta los 30°C. Sin embargo, el óptimo crecimiento se produce entre los 20 y 28°C (FAO, 2014). En Argentina, la carpa común, fue introducida alrededor de 1946 y luego se extendió en muchos cuerpos de agua del país. También se la transportó hacia el sur, de tal forma que en Río Negro se la encuentra abundantemente y fue introducida para disminuir la vegetación de los canales de riego. Sin embargo, la carpa común no se alimenta de vegetación. **En general, se considera la como una invasora "molesta", porque invade las aguas templadas cálidas, turbias y compite por alimento y espacio con las especies nativas.** Otra característica de la especie, es que es resistente a las enfermedades y otras causas que debilitan a los peces en general (contaminación, transporte e hibernación). La invasión en los ríos y otros ambientes naturales de Argentina, es una muestra de la degradación de los mismos, a través del tiempo por contaminantes de muy diversas fuentes (Bernal Calle, 2019).

Respecto a la parte hidropónica del sistema, muchos cultivos se pueden producir en este tipo de sistemas, entre ellos el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la especie hortícola más cultivada a nivel mundial, además es considerada como la hortaliza de mayor importancia económica. Este hecho se deriva de los diversos tipos de frutos y de las variadas formas de consumo que ofrece (Marim *et al.*, 2005; Gusmão *et al.*, 2000). Asimismo, la producción hidropónica supera su rendimiento en suelo. Una planta de tomate en tierra produce de 5 a 8 kg, pero en hidroponía puede producir entre 15 y 20 kg (Alpizar Antillón, 2006). En particular, **el tomate tipo "cherry" es caracterizado por pequeños frutos con diferentes tamaños, colores y sabores; actualmente es muy demandado en restaurantes, bares y en la fabricación de diversos platos como aperitivos tipo gourmet**

(Machado et al., 2003).

En el marco de esta situación global, sumado a la expansión demográfica y la crisis ambiental, resulta imprescindible proponer formas sustentables de producir alimentos que den respuestas a todos los sectores poblacionales y a la creciente demanda de alimentos. En los últimos años, el desafío por producir hortalizas libres de pesticidas y fertilizantes artificiales y la promoción de la economía circular, han permitido un avance y difusión de las técnicas acuapónicas y en la diversificación de los vegetales y organismos acuáticos empleados. Por lo antes mencionado, el objetivo del trabajo es evaluar el rendimiento productivo de cinco variedades de tomate cherry *Solanum lycopersicum* en un sistema acuapónico, con carpa común *Cyprinus carpio*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Organismos y condiciones de cultivo

El estudio fue realizado en un invernáculo del INTA Valle Inferior, Viedma, Río Negro (40° 48' S; 63° 05' W). El periodo evaluado fue desde octubre de 2022 a mayo de 2023, tiempo en el que se registró periódicamente la temperatura del ambiente en la que se desarrollaron las plantas.

Para el ensayo se utilizó un contenedor IBC de 1m<sup>3</sup> para los peces. El tanque contenía inicialmente 1253 g de carpas *Cyprinus carpio* (Fig. 1"6"), las mismas fueron alimentadas manualmente con un alimento flotante Shulett®, Peishe Koi, de composición: 35% de proteína; 4,0% de grasa cruda y 3,0% de fibra cruda. La ración total diaria correspondió al 3% de peso corporal, distribuida 2 veces al día (8:30 a. m. y 4:00 p. m.).

El contenedor IBC tuvo un flujo de agua ininterrumpido y constante, conectado a un decantador, un sedimentador y un filtro biológico, cada uno de ellos de volumen promedio de 0,2 m<sup>3</sup>. A continuación se conectó a una bandeja de cultivo de 2,2 x 0,8 x 0,2 m (volumen equivalente a 0,352 m<sup>3</sup>).

## Rendimiento en la producción acuapónica de cinco variedades de tomate cherry

El modelo hidropónico utilizado para el sistema fue el de balsa flotante con sustrato inerte (puzolana). Los plantines utilizados fueron separados cada 25 cm y colocados en un recipiente que contenía 120 cm<sup>3</sup> de piedra puzolana. Los plantines correspondieron a cinco variedades de tomate cherry *Solanum lycopersicum*: amarillo, brasil, green, chocolate y kumato (Figura 1, "1 al 5"). Por cada variedad se sembraron 5 plantines con un tamaño aproximado entre 13 y 14 cm y con 3 hojas verdaderas de tamaño entre 4 y 6 mm de diámetro.



Figura 1. Especies utilizadas en el sistema acuapónico. 1-cherry amarillo; 2-brasil; 3-green; 4-chocolate; 5-kumato y 6- carpa *Cyprinus carpio*.

Se registraron los parámetros del agua mensualmente (temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitritos y nitratos) mediante medidor multiparamétrico AQUACOMBO HM3070 y tiras de prueba Tetra® test 6 in 1. Para el estudio del rendimiento de las variedades de tomate cherry se registraron las siguientes informaciones: fecha de siembra, fecha de emergencia (germinación de la semilla), fecha de trasplante al sistema y fecha de cosecha. También se determinó el número y peso en gramos de frutos en cada cosecha a lo largo del ciclo (definiendo el ciclo como el número de días entre la siembra y el inicio de cosecha). Los pesos fueron medidos con una balanza digital Electrónica (SF-400), de precisión de 0.1g. Las carpas fueron pesadas mensualmente con una balanza comercial digital Systal Clipse, de

precisión de 1g. Se calculó el Índice de Conversión de Alimento (ICA), como el total del alimento consumido en el período/aumento de biomasa de peces.

## RESULTADOS

La temperatura ambiente promedio registrada, dentro del invernáculo y dentro del estanque de los peces, para el periodo del ensayo se resume en la Figura 2.

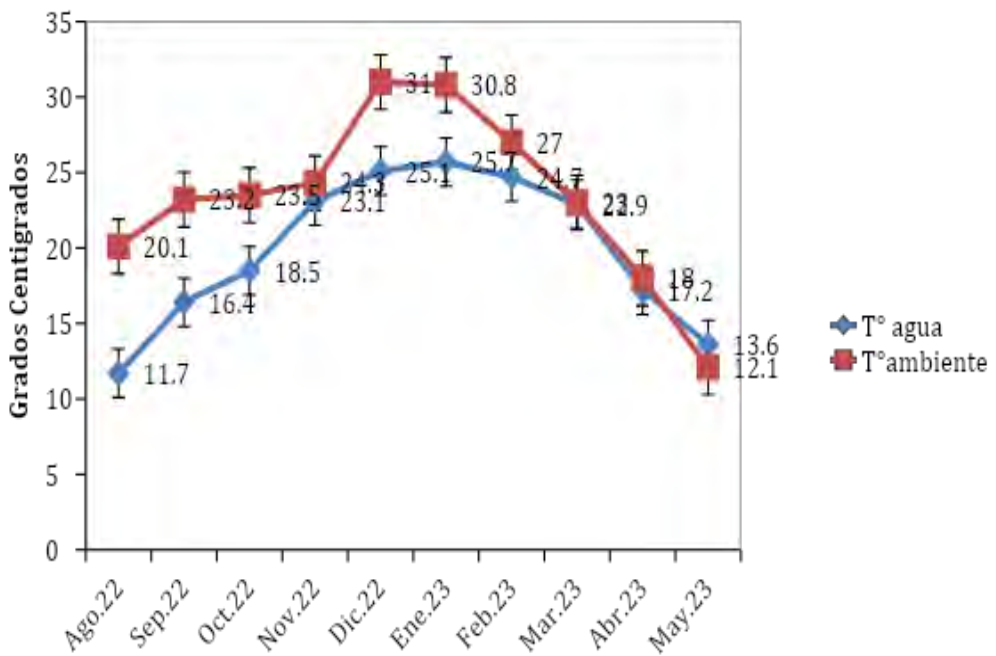


Figura 2. Promedio mensual de temperaturas en el invernadero y su desvío estándar (D.E. 5,71) y del agua de cultivo y su desvío estándar (D.E.5,07).

Respecto a las condiciones del agua del tanque, donde se desarrollaron las carpas, se obtuvieron los valores promedio mensuales (Tabla 1).



Tabla 1. Registro de rangos de los parámetros del agua, durante el periodo del ensayo (T: temperatura; OD: oxígeno disuelto).

Fecha	T (°C)	pH	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)	OD (%)
Octubre 22	18,8	7,6	20-40	0,5	85%
Noviembre 22	26	7,5	20	0-0,5	82%
Diciembre 22	25	7,5-8	20	0,5	71%
Enero 23	27	7	0-20	0	66%
Febrero 23	26,3	7,3	20-40	0-0,5	65%
Marzo 23	24,1	7,4	20	0-0,5	67%
Abril 23	13,1	8,1	20	0-0,5	79%
Mayo 23	10,6	6,5	0-20	0-0,5	72%

La variación de la biomasa registrada para la carpa se resume en la Figura 3. El valor final obtenido fue de 7,10 kg lo que representa que el aumento en peso de los peces fue de 5,85 kg.

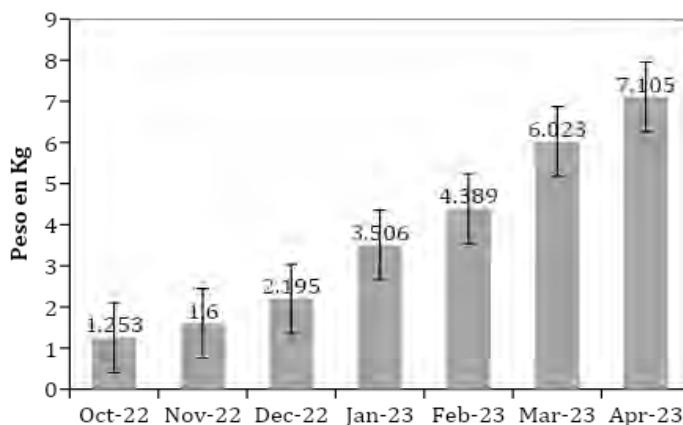


Figura 3. Biomasa de las carpas a lo largo del periodo de estudio. y si desvío estándar (D.E. 2,24).

La cantidad de alimento flotante Shulett® Peishe Koi empleado para la alimentación de los peces, durante el ensayo, fue de 9.600 g . El ICA calculado fue de 1,64.

En el caso de las plantas, todas las variedades llegaron a cosecha. Las variables medidas en las plantas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Fechas de siembra, emergencia, trasplante, cosecha y ciclo de las distintas variedades de tomate cherry *Solanum lycopersicum* (\*corresponde al número de días entre la siembra y el inicio de cosecha).

Variedades	Siembra	Emergencia	Trasplante a sistema	Cosecha	Ciclo*
amarillo	14/09/2022	26/09/2022	13/10/2022	11/01/2023	119
brasil			26/10/2022	11/01/2023	119
green			28/10/2022	11/01/2023	119
chocolate			25/10/2022	18/01/2023	126
kumato			20/10/2022	29/12/2022	106

En la Tabla 3 se expresan los resultados en la producción de las cinco variedades de tomate cherry durante el ensayo. Se cosecharon un total de 2087 unidades, por un peso total de 20,10 Kg de tomate cherry en sus cinco variedades.

Tabla 3. Producción por variedad y fecha, en peso y en unidad.

mes/ variedad	amarillo		brasil		green		chocolate		kumato	
	Unidad	peso (g)	Unidad	peso (g)	Unidad	peso (g)	Unidad	peso (g)	Unidad	peso (g)
12/22	-	-	-	-	-	-	-	-	15	172
01/23	89	1171	83	688	10	312	86	1654	95	1025
02/23	29	318	50	380	6	136	65	1192	48	467
03/23	239	2159	191	1100	43	328	122	1524	298	1942
04/23	239	1926	50	310	106	1176	74	1114	26	174
05/23	-	-	-	-	-	-	-	-	123	836
Total	596	5574	374	2478	165	1952	347	5484	605	4616

## DISCUSIÓN

Los parámetros medidos respondieron a valores promedio en cultivos acuapónicos, para la fecha en la que se desarrolló el cultivo. En el caso del pH, los valores por encima de 7 que se alcanzaron, son consecuencia de que el agua de uso del sistema proviene del estuario medio del río Negro. Las temperaturas estuvieron siempre dentro de los valores óptimos para el desarrollo de la carpa, las que necesitan al menos 18°C de temperatura como mínimo para crecer y ésta

puede alcanzar hasta los 30°C. El óptimo crecimiento se produce entre los 20°C y 28°C (Bernal Calle, 2019).

La producción de carpa evidenció un buen crecimiento durante el ensayo. Se partió de una biomasa de 1,25 kg, alcanzando un peso total de 7,10 kg. La ganancia en biomasa fue entonces de 5,85 kg, que representa un aumento del 467% para el periodo de octubre 2022 a mayo 2023.

Por otro lado, durante el ensayo, los 9,60 Kg de alimento tuvieron un valor de conversión de 1,64 en las carpas, al transformar el alimento en 5,85 Kg de biomasa. Este índice está contemplado entre los valores óptimos que oscilan entre 1,4 y 1,8 (FAO, 2014). Cabe aclarar, que en los primeros meses del ensayo, crecieron de manera lenta quizás por la adaptación a su nuevo hábitat en el estanque, ya que provenían directamente del río Negro. Esta especie representa un excelente recurso para incorporar proteína animal en la dieta de los pobladores locales. Sin embargo, si bien en varios países la carne de carpa es apreciada, no sucede lo mismo en nuestro país, especialmente en Patagonia donde se la asocia a sabor a "barro" por la presencia de un alga azul que ingiere y cuyas sustancias se fijan en el sistema muscular del pez. Esta característica es fácilmente eliminada por medio de su estadía durante varios días en aguas claras, lo que ocurre cuando son cultivadas en acuaponía y aplicando la técnica de faena correcta para la especie.

En líneas generales, podemos decir que las condiciones de temperaturas normales para el desarrollo, fecundación y cuajado en el tomate pueden ubicarse en torno a los 14°C durante la noche y 25 °C durante el día. Temperaturas superiores a 30°C, como también las inferiores a 10°C, pueden afectar el desarrollo del polen y malograr la fecundación. En este sentido y analizando el gráfico, observamos a los meses de diciembre y enero como los más comprometidos con el riesgo de las altas temperaturas superiores a los 30°C. Por el contrario, a partir de mayo comenzamos a tener riesgos en el normal desarrollo de las plantas por efecto de las bajas temperaturas.

En particular, durante el mes de marzo se obtuvieron los mejores rendimientos en la producción de tomates, excepto para la variedad green que mostró su mejor cosecha para el mes de abril. De las 5 variedades de *S. lycopersicum*

presentaron mayor velocidad de crecimiento para pasar al sistema las de variedad amarillo, seguida por kumato, chocolate, brasil y por último green. En cuanto al ciclo, la variedad kumato presentó menor valor seguida por amarillo, brasil y green. La variedad chocolate, fue la que presentó un ciclo más largo. Por último, la producción en unidades fue mayor para la variedad kumato y la menor para green, mientras que su rendimiento en peso fue mayor para amarillo y menor en green. La variedad kumato, fue la única en producir en todos los meses del ensayo. No se registró producción de las demás variedades durante los meses de diciembre ni mayo. Para el mes de diciembre, solo se produjo la variedad kumato, debido a que fue la que presentó el menor ciclo.

## CONCLUSIONES

Los parámetros físicos-químicos de la calidad del agua, medidos durante el experimento, se mantuvieron dentro de los límites óptimos, lo cual permitió el desarrollo normal en peces y plantas.

Los peces presentaron un aumento del peso del 467,03% con la dieta suministrada. Considerando que el alimento recibido por los peces fue la única fuente de ingreso de nutrientes al sistema, se infiere que con 9,60 kg de alimento para peces, se produjeron 28 kg de alimento familiar: 20,10 kg de tomate cherry más 7 kg de pescado (aumento en la biomasa de 5,85 kg).

Entre las variedades de tomate cherry cultivadas, el kumato fue la más precoz y última en cosechar. No obstante, resultó ser la tercera variedad en rendimiento. La mayor producción correspondió a la variedad amarillo, seguida por chocolate, concentrando su oferta entre los meses de enero y abril.

Considerando el rendimiento total de 5,57 kg en la variedad amarillo se pudo determinar un rendimiento promedio por planta de 1,11 kg. con un peso promedio de fruto de 9,3 g.

Este ensayo es el primero en la región que permite aprovechar un recurso invasor y desaprovechado como la carpa, para obtener vegetales de consumo y proteínas de pescado. Se destaca como una forma de cultivo simple que permite

obtener productos de alta calidad nutricional para consumo propio familiar o para comercialización y en este sentido también una posibilidad de empleo local y generación de productos de calidad gourmet.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado a través de los Proyecto PI 40-C-968 y PICT 2021-I-A-287.

## REFERENCIAS

Alpizar Antillón, L. (2006). Hidroponía: cultivo sin tierra: elementos básicos para desarrollar la técnica simple de cultivar plantas sin tierra en pequeños espacios, 1ª ed. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 104 p. ISBN 9977-66-158-8

AMIS. (2022). AMIS Market Monitor N°99. Agricultural Market Information System. [http://www.amisoutlook.org/fileadmin/user\\_upload/amis/docs/Market\\_monitor/AMIS\\_Market\\_Monitor\\_current.pdf](http://www.amisoutlook.org/fileadmin/user_upload/amis/docs/Market_monitor/AMIS_Market_Monitor_current.pdf)

Carciofi I., Maspi N., Mendoza F., Guevara Lynch J.P. (2022). Economías regionales en Argentina: sistemas integrados de producción acuícola-vegetal y cultivos arroceros. Aportes de políticas públicas para el impulso local en cadenas productivas ligadas a la agroindustria. Documento 31. Ministerio de Desarrollo Productivo. Plan Argentina Productiva 2030. 105 pp. ([https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/31\\_-\\_sistemas\\_integrados\\_de\\_produccion\\_arg\\_productiva.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/31_-_sistemas_integrados_de_produccion_arg_productiva.pdf)).

Bernal Calle A. Y. (2019). Análisis de los factores que influyen en el crecimiento de la carpa común *Cyprinus carpio* en condiciones ornamentales, provincia Murillo, ciudad de La Paz, Bolivia. Agro-Vet vol.3, n.1: 321-329. Disponible en: [http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2523-20372019000100004&lng=en&nrm=iso](http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2523-20372019000100004&lng=en&nrm=iso). ISSN 2523-2037.

- Diver S. (2006). Aquaponics-integration of ATTRA hydroponics with aquaculture. Publication no. IP163. ATTRA Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, pp 1–28.
- FAO. 2014. Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No.589. Rome, FAO. 262pp. <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>
- Gorosito A., Zanazzi N., Cecchi F., Imeroni J. C., Mallo J. C. (2016). Acuaponia. Un sistema productivo innovador y sustentable. En: Marcelo O. Cejas, Javier N. Gonella, Fabián M. Sensini (Compiladores) 7ª Jornadas de Ciencia y Tecnología - CyTAL 2016. Libro de Actas [Trabajos presentados]. Villa María, 2016 (p. 15-20). edUTecNe.
- Gusmão S.A.L. de, Pádua J.G., Gusmão M.T.A. de, Braz. L.T. (2000). Efeito da densidade de plantio e forma de tutoramento na produção de tomateiro tipo "cereja" em Jaboticabal-SP. *Hortic. Bras.* 18: 572-573.
- Heinen J.M., Hankins J.A., Adler P.R. (1996). Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher-energy or a lower-energy diet. *Aquac. Res.* 27: 699–710.
- Hernández Perez A. (2011). Desarrollo de Tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* L. cv. Camelia) en Respuesta a la Biofertilización Bajo Condiciones de Casasombra y Análisis de Algunos Parámetros Fisiológicos. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada. Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura. Saltillo, Coahuila, México. 164 pp.
- Machado J.O., Braz L.T., Grilli G.V.G. (2003). Desempenho de produção de cultivares de tomateiro tipo Cereja em diferentes espaçamentos (CD). *Hortic. Bras.* 21(2), Supl. 2: 356-356.
- Marim B.G., Silva D.J.H., Guimarães M.A., Belfort G. (2005). Sistemas de tutoramento e condução do tomateiro visando produção de frutos para consumo in natura. *Hortic. Bras.* 23(4): 951-955.

Mercado-Albarrán I., Ramírez-Carranza D., Cruz-Monterrosa R., Díaz-Ramírez M., Jiménez-Guzmán J., García-Garibay M., Miranda de la Lama G., Beristain Cardoso R., Rayas-Amor A. (2019). Sistema acuapónico con humedal subsuperficial para producción de carpa (*Cyprinus carpio* L.), fresa (*Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) y canola (*Brassica napus* L.). *Agro Productividad*, 12(11). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1520>.

Rafiee G., Saad C.R. (2005). Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 244: 109–118.



# Ficocoloides y cultivo de macroalgas marinas en Venezuela: una revisión

## Phycocolloids and marine macroalgae culture in Venezuela: a review

Jorge Barrios-Montilla<sup>1</sup>, Andrés Montes<sup>2</sup>,  
Josefa Morales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, estado Sucre. Venezuela

<sup>2</sup>Instituto Socialista de la Pesca y Acuicultura (INSOPESCA)

<sup>3</sup>Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura (CENIPA), Venezuela.

Correspondencia Jorge Barrios-Montilla  [jebarster@gmail.com](mailto:jebarster@gmail.com)

### Palabras clave |

Algacultura,  
desarrollo,  
geles,  
*Gracilariopsis tenuifrons*,  
*Kappaphycus alvarezii*.

**RESUMEN |** Las macroalgas marinas son una importante fuente de ficocoloides, los más conocidos son el agar y la carragenina (algas rojas) y el ácido alginico (algas pardas), conociéndose para Venezuela 67 especies de macroalgas gelofitas. El presente estudio se basó en la revisión de la bibliografía disponible; los nombres de las especies se actualizaron según la nomenclatura vigente. En Venezuela se han estudiado 23 especies de macroalgas productoras de geles: 11 agarofitas, 4 carragenofitas, 4 alginofitas y 4 con otros ficocoloides. Un resumen sinóptico-cronológico de actividades relacionadas con el aprovechamiento de las macroalgas marinas en Venezuela entre 1980 y 2023, incluye 43 ítems relevantes en el desarrollo de la algacultura en el país. Las especies con mayor éxito en el desarrollo de cultivos fueron *Gracilariopsis tenuifrons* y el alga exótica *Kappaphycus alvarezii*, siendo esta última la que ha propiciado un incipiente mercado de exportación debido a su elevada demanda internacional. La valiosa experiencia acumulada en estos años de investigación y ensayos de cultivo de macroalgas se puede enfocar en un proceso que combine equilibrio ambiental y desarrollo de la actividad, la cual se vislumbra como una alternativa para incrementar los ingresos económicos de las comunidades pesqueras.

| 950 |



Keywords |  
Algaculture,  
development,  
gels,  
*Gracilariopsis tenuifrons*,  
*Kappaphycus alvarezii*.

ABSTRACT | The present study was based on the review of the available literature; the species names were updated according to the current nomenclature. In Venezuela, 23 species of gel-producing macroalgae have been studied: 11 agarophytes, 4 carrageenophytes, 4 alginophytes and 4 with other phycocolloids. A synoptic-chronological summary of activities related to the use of marine macroalgae in Venezuela between 1980 and 2023, includes 43 relevant items in the development of algaculture in the country. The most successful species in crops development were *Gracilariopsis tenuifrons* and the exotic algae *Kappaphycus alvarezii*, the latter being the one that has led to an incipient export market due to its high international demand. The valuable experience accumulated in these years of research and macroalgae cultivation trials can be focused on a process that combines environmental balance and development of the activity, which is seen as an alternative to increase the economic income of fishing communities.

## INTRODUCCIÓN

La demanda de organismos marinos y sus subproductos ha estado en constante crecimiento durante los últimos años, con un incremento de su explotación en amplias regiones costeras a nivel mundial, como el caso de las algas marinas, cuya producción ha venido creciendo gradualmente en las últimas décadas. En el 2020 se produjeron 36 millones de toneladas (peso fresco) de algas, con un crecimiento anual del 2%, siendo los países asiáticos los principales productores del rubro mediante acuicultura, con el 97% de la producción mundial de algas (FAO, 2020).

Las macroalgas marinas son una importante fuente de sustancias gelificantes denominadas ficocoloides, polisacáridos complejos que son extraídos de algunas especies de algas rojas y pardas, los cuales son componentes estructurales del tejido del alga; disueltos en concentraciones que van de 0,5 a 5 %, constituyen matrices coloidales que según su grado de viscosidad pueden actuar como agentes gelificantes, estabilizantes, espesantes y emulsificantes en diversos procesos y productos industriales, los ficocoloides más conocidos son el agar y la carregenina, obtenidos de algas rojas, y el ácido alginico o alginatos,

obtenidos de algas pardas, aunque existen muchos otros obtenidos en menor cantidad (Montoya et al., 2017).

El interés en el uso de las macroalgas en Venezuela se inició con el estudio pionero de Díaz-Piferrer (1967), quien señaló la presencia de 57 macroalgas con potencial para la obtención de geles, como alimento humano y animal, elaboración de abonos y producción de sustancias de interés farmacológico. Ganesan (1989) catalogó 67 especies de macroalgas con potencial como productoras de geles: 33 agarofitas, 12 carragenofitas y 22 alginofitas.

La creciente exigencia de ficocoloides como materia prima en la industria manufacturera nacional, dio impulso a los entes públicos y privados, por medio de los centros de investigación radicados en el país, al estudio de la biología, ecología, composición química y calidad de los derivados de algunas macroalgas. Racca (1966) realizó estudios pioneros en cuanto al aprovechamiento industrial de especies autóctonas, con aportes en la metodología para determinar la calidad de los geles.

Los cultivos de macroalgas en Venezuela han estado centrados en dos especies de algas rojas que han mostrado un buen desempeño en cuanto a los métodos de producción, calidad de los geles obtenidos y comercialización, la agarofita autóctona *Gracilariopsis tenuifrons* y la carragenofita introducida *Kappaphycus alvarezii* (Lemus, 1992; Racca et al., 1993; Rincones y Rubio, 1999). El establecimiento de estos cultivos ha presentado numerosos altibajos, desde problemas de mercadeo, hasta elementos de tipo cultural, ambiental y legal que han jalonado su desarrollo.

En el presente trabajo se hace una revisión de los estudios de los ficocoloides y el cultivo de macroalgas productoras de geles en Venezuela en las últimas 4 décadas, basado en fuentes bibliográficas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se recopiló la literatura disponible relacionada con el estudio de los ficocoloides en Venezuela y el cultivo de macroalgas productoras de geles de interés comercial, para lo cual se consultaron páginas web de internet, publicaciones científicas, tesis de grado y trabajos de ascenso, incorporándose observaciones personales de los autores sobre actividades relacionadas con la algacultura desarrolladas en el país. Los nombres de las especies de macroalgas se actualizaron según Guiry y Guiry (2023).

Con esta información se elaboró un listado de las especies productoras de ficocoloides evaluadas en Venezuela, las localidades, tipo de estudio y las respectivas referencias (Tabla 1), además se elaboró un resumen cronológico sobre las investigaciones, evaluación de recursos, proyectos de cultivo y demás actividades relacionadas con el tema (Tabla 2).

## RESULTADOS

En Venezuela se ha estudiado 23 especies de macroalgas productoras de geles: 11 agarofitas, 4 carragenfitas, 4 alginofitas y 4 con polisacáridos gelificantes, evaluándose aspectos tales como su ecología, prospección de bancos silvestres, reología (rendimiento, fuerza del gel, viscosidad, temperaturas de fusión y gelificación de los ficocoloides), ciclos de vida, cariología, sistemas de cultivo experimentales, especies introducidas, entre otros (Tabla 1).

La información recabada permitió elaborar un cuadro sinóptico-cronológico (Tabla 2), con un total de 43 ítems sobre las actividades relacionadas con el estudio de las especies de macroalgas de interés comercial y su cultivo, evaluación de los ficocoloides y actividades clave relacionadas con el desarrollo de la algacultura en Venezuela.

Tabla 1. Especies de macroalgas productoras de ficocoloides estudiadas en Venezuela.

Especies	Localidades, tipo de estudio y referencias
AGAROFITAS	
<i>Gelidium floridanum</i> Taylor:	S, R (Lemus et al., 1991); NE, Car (Kapaun et al., 1993).
<i>G. serrulatum</i> J. Agardh:	S, NE, P, R (Aponte, 1987); S, NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, NE, R (Lemus y Aponte-Díaz, 1988); S, R (Lemus et al., 1991); NE, Car (Kapaun et al., 1993); S, CV (Loayza y Lemus, 1994); NE, P (Lemus y Gómez, 1995); LG, R, CV (*Ardito, 2001); LG, Fen (Ardito y Gómez, 2005); LG, R (*Ardito, 2007); LG, U (Ardito et al., 2007); A, LG, M, Fen (Huérfino, 2007); S, R (Brito y Silva, 2007).
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann y Hamel:	F, P, R (Foldats, 1980).
<i>Gracilaria cervicornis</i> (Turner) J. Agardh:	NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, R (Aponte-Díaz y Lemus, 1989); S, R (Brito et al., 2007); S, R (*Reyna, 1991); S, P (*Blanco, 1991).
<i>G. cornea</i> J. Agardh:	F, P, R (Foldats, 1980); F, P, R (Rincones, 1989).
<i>G. damicornis</i> J. Agardh:	S, R (Brito y Lemus, 1996); S, CV (Brito y Silva, 2004).
<i>G. domingensis</i> (Kützing) Sonder ex Dickie:	F, P, R (Foldats, 1980); NE, R (Palma et al., 1987); NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, R (Aponte-Díaz y Lemus, 1989); S, R (*Reyna, 1991); S, P (*Blanco, 1991); S, R (*Duarte, 1995); F, R (Quintero et al., 2020).
<i>Gracilaria</i> spp.:	NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987).
<i>Gracilariopsis hommersandii</i> Gurgel, Fredericq y Norris:	F, R (*Vincenti, 2010); F, R (Rodríguez et al., 2019).
<i>G. tenuifrons</i> (Bird y Oliveira) Fredericq y Hommersand:	S, R (Aponte-Díaz y Lemus, 1989); S, R (*Reyna, 1991); S, CE (Lemus, 1992); S, C (Rincones et al., 1992); S, R, C (Racca et al., 1993); NE, Car (Kapaun et al., 1993); S, R (Rincones et al., 1993); S, E (Balladares et al., 1995); S, C (Dawes, 1995); S, FI (Bellorín y Lemus, 1997); S, R (Brito y Lemus, 1998); S, E (*Barrios, 1998); S, R (Chiquin y Kodaira, 1999); S, R (Brito, 2000); S, F (Bellorín y Lemus, 1997); S, E (Barrios, 1999); S, R (Zecchin et al., 2000); S, Fen, CV (Brito y Silva, 2005); S, R (Lemus et al., 2023).
<i>Pterocladia capillacea</i> (Gmelin) Santelices y Hommersand:	S, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, NE, R (Lemus y Aponte-Díaz, 1988); S, E, R (Velásquez et al., 1988); LG, E, CV (*Huérfino, 1998); S, CE (Lemus, 1992); NE, Car (Kapaun et al., 1993); A, LG, M, Fen (Huérfino, 2007).
CARRAGENOFITAS	
<i>Euclidean denticulatum</i> (Burman) Collins y Hervey:	S, NE, CE (Rincones y Rubio, 1999).
<i>Euclideanopsis isiformis</i> (C. Agardh) Núñez-Resendiz, Dreckmann y Senties :	NE, CE (Montoya et al., 2020).
<i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) Lamouroux:	NE, R (Palma et al., 1987); S, TIFM (*León 1990).
<i>Kappaphycus alvarezii</i> (Doty) Liao :	S, NE, CE (Rincones y Rubio 1999), S, NE, E (Barrios, 2005), NE, E (Barrios et al., 2007) ; NE, E (Barrios et al., 2021).
ALGINOFITAS	
<i>Padina gymnospora</i> (Kützing) Sonder:	NE, R (Guevara y Palma, 1986).
<i>Sargassum filipendula</i> C. Agardh:	NE, R (Guevara y Palma, 1986).
<i>Sargassum cymosum</i> C. Agardh:	NE, R (*Arellano, 1989).
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh, nom. illeg.:	NE, R (*Arellano, 1989).
POLISACARIDOS QUE FORMAN GELES (PORFIRÓN Y OTROS)	
<i>Bostrychia moritziana</i> (Sonder et Kützing) J. Agardh:	S, R (Youngs et al., 1998).
<i>Laurencia filiformis</i> (C. Agardh) Montagne :	F, R (Canelón et al., 2014).
<i>L. obtusa</i> (Hudson) Lamouroux:	F, R (Canelón et al., 2014).
<i>Neoporphyra spiralis</i> var. <i>amplifolia</i> (Oliveira y Coll) Wynne:	NE, E, CV (Kapaun y Lemus, 1987); NE, Car (Kapaun y Freshwater, 1987); NE, Car (Kapaun et al., 1991).

Nomenclatura: Localidades (A = Aragua, F = Falcón, LG = La Guaira, M = Miranda, NE = Nueva Esparta, S = Sucre, TIFM = Territorio Insular Francisco de Miranda). Tipo de estudio (Car = Cariología, CC = Cultivo Comercial, CE = Cultivo Experimental, CV = Cibo Vital, E = Ecología, Fen = Fenología, Fi = Fisiología, P = Prospección, R = Reología, U = Usos) \*Tesis y trabajos de ascenso no

publicados.

Tabla 2. Resumen sinóptico-cronológico de actividades relacionadas con el aprovechamiento y desarrollo de cultivos de macroalgas en Venezuela (1980-2023).

---

Investigación, evaluación de recursos y proyectos de cultivo

---

1980-85

- Prospección de bancos de algas agarofitas en el estado Falcón.

1985-90

- Desarrollo de cultivos experimentales de *Gracilaria cornea* en Falcón, financiado por entes estatales.
- Evaluación de la extensión, biomasa y reología de geles de algunos bancos de algas agarofitas en los estados Sucre y Nueva Esparta.
- Reconocimiento del rendimiento y fuerza del gel del agar de diferentes alginofitas en Venezuela.
- Proyecto de selección y cultivo de algas productoras de geles en el oriente de Venezuela.
- Instalación de una planta piloto de producción de agar en Cumaná (Universidad de Oriente).
- Creación de Geles del Caribe C.A. (GELCA), planta de agar en Cumaná de la empresa POLAR.
- Ensayos de cultivo de *Gracilariopsis tenuifrons* por el sistema de cuerdas suspendidas en la costa norte de Araya (estado Sucre): selección de áreas, evaluación de tasas de crecimiento, tiempo de cosecha y estudios reológicos del agar obtenido.
- Cultivo experimental de *G. tenuifrons* en la Estación Hidrobiológica de Turpialito (IOV-UDO), golfo de Cariaco, estado Sucre.
- Se estudió el potencial de cultivo en ensayos experimentales del alga roja *Neoporphyra spiralis* var. *amplifolia* proveniente de la Isla de Margarita, Venezuela.

1990-95

- Estudio de la calidad y rendimiento de agar y biomasa cosechable de *Gelidium floridanum*, *G. serrulatum* y *Pterocladia capillacea* en Venezuela.
- Desarrollo de un paquete tecnológico de cultivo intensivo de *G. tenuifrons*, siembra de 3 hectáreas como fuente de clones y propuesta de cultivo intensivo en la península de Araya (Sucre) por la empresa GELCA.
- Problemas de herbivoría y epibiosis, conflictos de tipo laboral con los cultivadores locales y precios poco atractivos del mercado internacional de macroalgas limitan las áreas cultivadas de *G. tenuifrons* en el estado Sucre.
- Ensayos de cultivo de *G. tenuifrons* en Falcón a partir de material trasladado del estado Sucre (entes estatales y privados).
- Disolución de la empresa Geles del Caribe.
- Transferencia de cultivos de *G. tenuifrons* a familias de pescadores de la costa norte de Araya bajo supervisión privada.

1995-2000

- Evaluación del agar de *Gelidiella acerosa* y *Gracilaria mammillaris* del estado Falcón.
- Creación de la compañía BIOTECMAR (Cultivos y Biotecnología Marina, C.A.).
- Introducción de las algas *Kappaphycus alvarezii* y *Euclima denticulatum* desde Filipinas para cultivos experimentales en Araya y Coche, promovida por Copenhagen

Pectin A/S.

- Primer taller internacional de cultivo y biotecnología de algas marinas (Cumaná, 2-5 diciembre 1996), para el diagnóstico, situación y perspectiva sobre el cultivo de algas en Venezuela.
- Actividades de información y promoción del cultivo de algas marinas con entes gubernamentales y de investigación (CONICIT, Ministerio de Agricultura y Cría, FUNDACITE, Fundación La Salle y Universidad de Oriente).
- Inicio del proyecto: cultivo intensivo de *G. tenuifrons* y las carragenofitas exóticas *K. alvarezii* y *E. denticulatum* en la península de Araya, estado Sucre (Empresa BIOTECMAR).
- Cultivo experimental de *Gracilaria dentata* y *G. tenuifrons* en Margarita, Nueva Esparta.
- Se estudia un polisacárido semejante al agar del alga *Bostrychia moritziana* del estado Sucre, la cual tolera amplios rangos de salinidad.
- Estudios de ecología (epibiosis y factores que afectan el crecimiento), variación anual en el rendimiento y fuerza de gel, influencia del tratamiento alcalino y propiedades físicas del agar de *G. tenuifrons*.

2000-2005

- Evaluación de la dispersión de *K. alvarezii* desde sus áreas de introducción y cultivo.
- Disolución de la compañía BIOTECMAR.
- Estudios sobre la fenología y ciclo de vida de *G. tenuifrons*.
- Reología, ciclos de vida y fenología de especies productoras de agar en el litoral central de Venezuela.

2005-2010

- Estudios sobre el impacto del alga *K. alvarezii* en arrecifes coralinos de isla Cubagua.
- Rendimiento del agar de *G. serrulatum* del estado Sucre.
- Se crea la Asociación Acuicultora Granja La Vega en el estado Sucre para cultivar y producir harina de *G. tenuifrons* para consumo animal y producción de agar (Financiamiento gubernamental, proyecto de desarrollo endógeno).

2010-2015

- Estudios de la ocurrencia y aprovechamiento de arribazones de macroalgas marinas en la Isla de Margarita.
- Se estudian los polisacáridos de *Laurencia filiformis* y *L. obtusa* del estado Falcón.
- Durante el II Foro-Taller de Acuicultura del estado Sucre-Cumaná 500 años, se promueve la algacultura basada en algas autóctonas, con énfasis en el cultivo de *G. tenuifrons*, bautizada como "Pelillo Caribe" con fines comerciales y para diferenciar el recurso del "Pelillo", macroalga de morfología similar cultivada en el Pacífico Sur.

2015-2023

- Reología de *Gracilaria domingensis* y *Gracilariopsis hommersandii* colectadas en el estado Falcón.
- Evaluación del crecimiento de *Eucheumatopsis isiformis* en cultivos suspendidos en isla Cubagua.
- La crisis económica propicia la exportación de *K. alvarezii* proveniente de arribazones en la isla de Margarita.
- Se promueve el cultivo de *K. alvarezii* sin las medidas ambientales adecuadas ni reglamentación gubernamental en Nueva Esparta.
- Se crean empresas como Agromarina Biorma Acuaculture, Tide, Biomarina, Revolution

Seaweed, Korven, Funpes Mar, Fundema y otras, dedicadas a la formulación, promoción y desarrollo de proyectos de cultivo de algas en el estado Nueva Esparta.

- El Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura (CENIPA SUCRE) dictó un taller de cultivo del alga "Pelillo Caribe" en una comunidad pesquera del norte de la Península de Araya, estado Sucre.
  - El Ministerio del Poder Popular de Pesca y Acuicultura sancionó una ley que reglamenta el aprovechamiento y cultivo de macroalgas en Venezuela.
  - Las algas marinas se constituyen en el tercer rubro no tradicional de exportación en Venezuela.
- 

## DISCUSION

Los primeros estudios con fines de explotar comercialmente las algas se basaron en unas pocas especies productoras de agar, efectuándose las primeras prospecciones en el estado Falcón (Foldats, 1980) y los estados Sucre y Nueva Esparta (Lemus y Aponte, 1987). Las características de los bancos de algas con especies de interés comercial, como son su reducida extensión, crecimiento en áreas de difícil acceso, la presencia de organismos asociados (fauna y algas epifitas), gran heterogeneidad espacial, marcada estacionalidad y conflictos legales para su extracción por estar en áreas protegidas, complicaron la explotación, además se consideró su importancia ecológica por encontrarse en lugares de elevada biodiversidad.

Velásquez *et al.* (1988) efectuaron estudios bien detallados de la ecología, taxonomía, reología y potencial reproductivo del alga agarofita *P. capillacea* en el estado Sucre, considerando que su aprovechamiento no era viable a largo plazo por la reducida extensión de los bancos, proponiendo su empleo como fuente de material para cultivos.

Las necesidades de ficocoloides de la industria nacional son cubiertas por importaciones que representan un importante monto en divisas, como lo muestran las estadísticas de importación de ácido alginico y agar entre 1978 y 1987 (Ganesan, 1989), lo que propició algunos intentos de procesar algas cosechadas de bancos naturales en el país. De las 18 macroalgas a las que se le han efectuado estudios reológicos y del rendimiento de los geles en Venezuela, es probable que se puedan explotar de forma controlada algunas especies

silvestres mediante un buen estudio de manejo del recurso con un mínimo de afectación ambiental.

En la ciudad de Cumaná (estado Sucre) se instaló la primera planta piloto para la producción de agar en Venezuela (Geles del Caribe, GELCA C.A.) en el año 1986 (Balladares, 2023). En principio se procesaron algas silvestres, pero la dificultad para conseguir suficiente materia prima, los costos de extracción de sus áreas naturales y transporte, además del mal procesamiento en cuanto a la limpieza, secado y almacenamiento de las algas, generó ingresos económicos poco estimulantes para los cosechadores, causando el declive de esta primera fase de la explotación del recurso. Esta situación propició el desarrollo de cultivos para suplir la materia prima necesaria para la producción de agar.

Se destacaron unas pocas especies prometedoras para ser cultivadas, a nivel experimental se evaluaron a *G. debilis* en Falcón (Rincones, 1989) y a *G. tenuifrons* en Sucre, resaltando esta última por sus facilidades de manejo, rápido crecimiento, buen rendimiento y calidad del agar obtenido, lográndose un exitoso paquete tecnológico para su cultivo (Lemus, 1992; Racca et al., 1993). La calidad de los geles obtenidos de *G. tenuifrons*, con máximos valores de fuerza de gel de 831 g/cm<sup>2</sup> (Brito y Lemus, 1998), superan los rangos de agares comerciales que van de 400 a 600 g/cm<sup>2</sup> (Hurtado-Ponce, 1994). Las variaciones en las concentraciones de nutrientes como el amonio no afectaron de forma significativa la tasa de crecimiento diario, el rendimiento, la fuerza, ni el punto de fusión y gelificación del agar de *G. tenuifrons* en cultivos experimentales en estanques realizados en el estado Sucre (Lemus et al., 2023).

A pesar de que *G. tenuifrons* es una especie prometedora para establecer cultivos viables comercialmente, una combinación de factores afectó el desarrollo de los mismos, como problemas relacionados con la epibiosis y herbivoría del alga (Barrios, 1998; Balladares, 2023), que disminuían la calidad del alga, además de problemas de transporte de las algas hacia los centros de procesamiento y poca rentabilidad de la venta de la biomasa cosechada debido a las variaciones en los precios de exportación y la depreciación de la moneda local versus el dólar.



En el año 1996, se cultivaron las carragenofitas *K. alvarezii* y *E. denticulatum* en la península de Araya (estado Sucre) e isla de Coche (estado Nueva Esparta) por la empresa BIOTECMAR, algas que fueron traídas desde el mar de Bohol, Filipinas (Rincones y Rubio, 1999; Rincones, 2000). Entre las numerosas especies de macroalgas introducidas en aguas tropicales a nivel mundial, la más exitosa es *K. alvarezii*, carragenofita de fácil propagación, manejo y con un elevado contenido de kappa-carragenina (Porse y Rudolph, 2017). Las algas cultivadas en Venezuela fueron exportadas hacia Francia y Dinamarca, sin embargo, la producción se decantó hacia el cultivo de *Kappahycus*, debido a los bajos precios internacionales de *E. denticulatum* (Smith y Rincones, 2006). La buena adaptación de *K. alvarezii* a las condiciones ambientales locales, con altas tasas de crecimiento que mostraron valores de incremento diario entre 4,5 y 7,0% (Smith y Rincones *op cit*), la baja incidencia de epibiosis y un buen perfil de mercadeo de las cosechas propiciaron el incremento de las áreas a ser cultivadas.

La introducción de macroalgas con fines de cultivo es una práctica común que está pautada por los requerimientos de la industria mundial de ficocoloides, a pesar de que la translocación de especies no está exenta de riesgos por los impactos ambientales que pueden causar las introducciones, prevalecen los criterios de tipo económico. La controversia generada en Venezuela por el potencial invasivo de *K. alvarezii*, el cual se dispersó y estableció en arrecifes coralinos (Barrios, 2005; Barrios *et al.*, 2007; Barrios *et al.*, 2021), fue el primer obstáculo para el establecimiento de cultivos de esta especie, llegándose a prohibir su siembra en el país.

La presencia de importantes cantidades de esta especie en arribazones en el estado Nueva Esparta, muchos años después de su introducción, junto a la necesidad de buscar nuevas fuentes de ingresos, han propiciado el nacimiento de empresas para exportar algas desde el año 2019, las cuales comenzaron con algas colectadas del ambiente, para luego iniciar cultivos con la finalidad de mantener una biomasa comercializable con el tiempo.

En la actualidad se puede considerar a *K. alvarezii* como una especie introducida naturalizada que se encuentra creciendo de manera silvestre en la zona marina sur-oeste del estado Nueva Esparta, incluyendo las islas Coche y

Cubagua. Pérez et al. (2007) indican que numerosas especies consideradas cosmopolitas son realmente introducciones muy antiguas, por lo que carece de sentido asumir una posición extremista hacia el aprovechamiento de las especies exóticas que ya están presentes en un ecosistema, haciéndose necesario evaluar el impacto que tienen estas especies sobre el entorno, establecer medidas para controlar las amenazas para el ambiente y estudiar con mucho detenimiento cualquier introducción futura (Ehemann et al., 2017).

Más recientemente, el alga *E. isiforme*, productora de Iota-carragenina, ha sido evaluada experimentalmente en cultivos en la isla de Cubagua (estado Nueva Esparta), mostrando un potencial para establecer cultivos masivos (Montoya et al., 2020), esta especie ha sido cultivada con buenos resultados en otras regiones del Caribe (Smith y Renardh, 2002).

La experiencia con cultivos de macroalgas en Venezuela ha mostrado que la región nororiental es la más prometedora para establecer este tipo de actividad debido a la existencia de áreas costeras protegidas y a que sus aguas están naturalmente enriquecidas por el fenómeno de surgencia (Gómez, 1996).

Con respecto a los métodos de cultivo de *G. tenuifrons*, *K. alvarezii*, *E. denticulatum* y *E. isiforme*, estos se establecieron en aguas abiertas usando long-line horizontales y balsas (en zonas con profundidades que van de 3 a 6 metros); las balsas, ancladas al fondo, consistieron en marcos de bambú o tubos de PVC con flotadores y cuerdas de polipropileno como medio de sujeción de los implantes. Para aguas someras se emplearon sistemas de cuerdas y estacas sobre el lecho marino; los cultivos en estanques no han sido ensayados por los altos costos en infraestructura y manejo (Rincones et al., 1992; Racca et al., 1993; Rincones, 2000; Montoya et al., 2020).

Uno de los mayores retos que enfrentaba la algacultura en Venezuela era la ausencia de normativas y una legislación adecuada para el desarrollo del área, sin embargo a finales de 2023 se sancionó una serie de leyes que norman la explotación de las macroalgas provenientes de bancos naturales y el cultivo de especies locales y foráneas, lo cual es producto de un largo proceso de evaluación y consultas abiertas de entes gubernamentales nacionales y

estadales, centros de investigación y la empresa privada (Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela, 2023).

La valiosa experiencia acumulada en estos años de investigación y ensayos de cultivo de macroalgas en Venezuela se puede enfocar en un proceso que combine equilibrio ambiental y desarrollo de la actividad, vislumbrándose como una alternativa para mejorar la vida de las comunidades de pescadores que hacen vida en la zona costera, representando además un potencial para el establecimiento de una industria de ficocoloides que agregue valor a la producción de especies gelofitas en el país.

## CONCLUSIONES

El estudio de las macroalgas productoras de geles de interés comercial en Venezuela en los últimos 40 años ha generado un cúmulo de información de gran valor estratégico para el aprovechamiento del recurso, evaluándose un total de 23 especies de macroalgas. Las especies para las cuales existe un paquete tecnológico de bajo costo con un mercado de exportación seguro son la carragenofita exótica *K. alvarezii* y la agarofita autóctona *G. tenuifrons*. La región nororiental de Venezuela es la más prometedora para la instalación de cultivos de macroalgas por sus características ambientales y geográficas.

## REFERENCIAS

- Aponte M. (1987). Localización de algunos bancos de agarofitas de los estados Sucre y Nueva Esparta, reconocimiento de las especies y características de los agares obtenidos de las mismas. Informe Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente – CONICIT. Cumaná, Venezuela. 73 pp.
- Aponte-Díaz M., Lemus A. (1989). Comparative study of the agar obtained from three species of *Gracilaria* feasible for culture in Venezuela. En: Proceedings of the Workshop on "Cultivation of Seaweeds in Latin America". Oliveira E.C., Kautsky N. (eds). International Foundation for Science, Universidad de Sao Paulo. S. Sebastião, Brazil (abril 1989). pp. 117-119.

- Ardito S. (2001). Estudio del potencial reproductivo de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Rhodophyta, Gelidiales) y de la calidad del agar extraído de las diferentes fases del ciclo de vida. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 147 pp.
- Ardito S., Gómez S. (2005). Patrón fenológico de una población de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Rhodophyta, Gelidiales) en la localidad de Taguao, estado Vargas, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(1): 101-111.
- Ardito S. (2007). Variación temporal por fase reproductiva en las propiedades del agar de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Rhodophyta, Gelidiales) y aplicabilidad del mismo como cultivo bacteriológico. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. 78 pp.
- Ardito S., Torquati E., Valbuena O. (2007). Aplicabilidad del agar de *Gelidium serrulatum* (Rhodophyta, Gelidiales) como medio de cultivo bacteriológico. XVII Congreso Venezolano de Botánica, Maracaibo, Venezuela (mayo 2007). pp. 696-698.
- Arellano R. (1989). Estudio de algunos bancos de *Sargassum* (Fucales, Phaeophyta) como productores de alginatos en la isla de Margarita. Tesis de pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 51 pp.
- Balladares C., Racca E., Dawes C. (1995). Seasonal feeding behaviour of the fish *Hyporhamphus unifasciatus* grazing on *Gracilaria* farms in Venezuela. XVth International Seaweed Symposium. pp. 50.
- Balladares C. (2023). Geles del Caribe (GELCA) C.A., una empresa de macroalgas en Venezuela. Orígenes y desarrollo. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46 (2): 147-152.
- Barrios J. (1998). Estudio de la epibiosis en cultivos experimentales de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales, Rhodophyta) en Chacopata, estado Sucre, Venezuela. Tesis de postgrado en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Cumaná, Venezuela. 65 pp.

- Barrios J. (1999) Estructura y dinámica de comunidades asociadas a cultivos de *Gracilariopsis tenuifrons* (Rhodophyta) en Chacopata, estado Sucre, Venezuela. II reunión Asociación Laboratorios Marinos del Caribe (ALMC), Cumaná, Venezuela (julio 1999). pp. 77.
- Barrios J. (2005). Dispersión del alga exótica *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales: Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico del Venezuela, 44: 29–34.
- Barrios J., Bolaños J., López R. (2007). Blanqueamiento de arrecifes coralinos por la invasión de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) en isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 46 (2): 147-152.
- Barrios-Montilla J., Ruiz-Allais J.P., Amaro M.E. (2021). Interacciones alga-coral en arrecifes coralinos invadidos por *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) en isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 60 (1): 17-31.
- Bellorín A., Lemus A. (1997). Efecto de la temperatura y la irradiancia en el crecimiento *in vitro* del alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird et Oliveira) Fredericq et Hommersand (Gracilariales, Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 26 (1-2): 61-67.
- Blanco F. (1991). Estudio de dos bancos de *Gracilaria* Greville (Gracilariales, Rhodophyta) en las adyacencias de la ciudad de Carúpano, estado Sucre, con fines de producción de agar. Tesis de pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 46 pp.
- Brito L., Lemus A. (1996). Rendimiento y consistencia del agar de *Gracilaria damaecornis* J. Agardh (Gracilariales: Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 35(1- 2): 57-62.
- Brito L., Lemus A. (1998). Variación anual en el rendimiento y fuerza de gel del agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird et Oliveira) Fredericq et Hommersand de

la Península de Araya, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 37(1-2):75-80.

Brito L. (2000). Influencia del tratamiento alcalino sobre el agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales: Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 39(1-2):67-70.

Brito L., Silva S. (2004). Fases reproductivas de *Gracilaria damaecornis* J. Agardh (Gracilariaceae: Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 43(1-2):33-36.

Brito L., Silva S. (2005). Fenología y ciclo de vida del alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariaceae) en Sucre, Venezuela. Revista de Biología Tropical, 53 (Suppl. 1): 67-73.

Brito L., Segnini M., Silva S. (2007). Evaluación del agar del alga *Gracilaria cervicornis* (Gracilariales, Rhodophyta) del estado Sucre, Venezuela. XII Congreso Latino-americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. Florianópolis, Brasil (abril 2007). pp. 3.

Brito L. Silva S. (2007). Extracción del agar de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Gelidiales, Rhodophyta) en el estado Sucre, Venezuela. XVII Congreso Venezolano de Botánica, Maracaibo, Venezuela (mayo 2007). pp. 235-237.

Canelón D., Ciancia M., Suárez A., Compagnone R, Matulewicz M. (2014). Structure of highly substituted agarans from the red seaweeds *Laurencia obtusa* and *Laurencia filiformis*. Carbohydrate Polymers, 101:705-713.

Chiquin A., Kodaira M. (1999). Efecto del tratamiento ácido sobre las características del agar extraído de *Gracilaria* sp. Memorias del Instituto de Biología Experimental. 2: 183-186.

Dawes C. (1995). Suspended cultivation of *Gracilaria* in the sea. Journal Applied Phycology, 7:303-313. <https://doi.org/10.1007/BF00004004>

- Díaz-Piferrer M. (1967). Los recursos marinos de Venezuela. Algas marinas de importancia económica. El Farol, 222: 18-22.
- Duarte V. (1995). Aspectos biológicos y características del agar de *Gracilaria domingensis* (Kützing) Sonder ex Dickie (Gracilariaceae, Rhodophyta) en el Oriente de Venezuela. Tesis de Pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 80 pp.
- Ehemann N., Escorcía R., Figueredo A., Renata A. (2017). Contribución al conocimiento de la situación actual de las especies introducidas en el estado Nueva Esparta, Venezuela, con una propuesta para su manejo integral. En: Gestión de la diversidad biológica en Nueva Esparta. 5<sup>ta</sup> línea estratégica. Nass P., Torres-Sorando L. (eds.). Edit. Ciencia Espartana. pp. 94-117.
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Food and agriculture organization of the United Nations, Roma. 243 pp. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Foldats E. (1980). Estudio de la variación del agar en *Gracilaria dominguensis*, *G. debilis* y *Gelidiella acerosa*, y los preparativos para la exportación de dichas algas. Informe final proyecto CONICIT-UCV. Venezuela.
- Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela. (2023). Resolución mediante la cual se regula el aprovechamiento, cultivo y actividades conexas de las especies de algas y cianobacterias para su desarrollo sustentable y sostenibilidad, en la República Bolivariana de Venezuela. Ministerios del Poder Popular de Pesca y la Acuicultura, y el Ecosocialismo. Gaceta N.º 462.964 del 28 de diciembre de 2023.
- Ganesan E. (1989). Taxonomy of the economically important seaweeds of Venezuela: I *Gracilaria*: *G. lacinulata* (Valh) Howe prox. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 28 (1-2): 85-97.
- Gómez A. (1996). Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. Interciencia, 21(3): 140-145.

- Guevara G., Palma H. (1986). Contenido de alginato en dos especies de algas Phaeophyta *Padina gymnospora* (Kützinger) Vickers y *Sargassum filipendula* C. Agardh, de las costas de la isla de Margarita, Venezuela. Contribuciones de la Estación de Investigaciones Marinas, Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 110: 9-27.
- Guiry M., Guiry G. (2023). Algaebase.org. Publicación electrónica. National University of Ireland, Galway. Disponible en <https://www.algaebase.org> (Consultado diciembre 2023).
- Huérfino A. (1998). Aspectos sobre la biología poblacional, citogenética experimental y cultivo bajo condiciones controladas de la agarofita *Pterocladia capillaceae*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 208 pp.
- Huérfino A. (2007). Estructuras de talla reproductiva de *Gelidium serrulatum* J. Agardh y *Pterocladiaella capillacea* (S.G. Gmel.) Santel. y Hommers. (Gelidiales, Rhodophyta) presentes en la costa central de Venezuela. XVII Congreso Venezolano de Botánica, Maracaibo, Venezuela (mayo 2007). pp. 310-312.
- Hurtado-Ponce A. (1994). Agar production from *Gracilariopsis heteroclada* grown at different salinity levels. *Botanica Marina*, 37:97-100.
- Kapraun D., Freshwater D. (1987). Karyological studies of five species of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from the North Atlantic and Mediterranean. *Phycologia*, 26(1): 82-87.
- Kapraun D., Lemus A. (1987). Field and culture studies of *Porphyra spiralis* var. *amplifolia* Oliveira Filho et Coll (Bangiales, Rhodophyta) from Isla de Margarita, Venezuela. *Botanica Marina*, 30: 483-490.
- Kapraun D., Hinson T., Lemus A. (1991). Karyology and cytophotometric estimation of inter-and intraspecific nuclear DNA variation in four species of *Porphyra* (Rhodophyta). *Phycologia*, 30(5): 458-466.

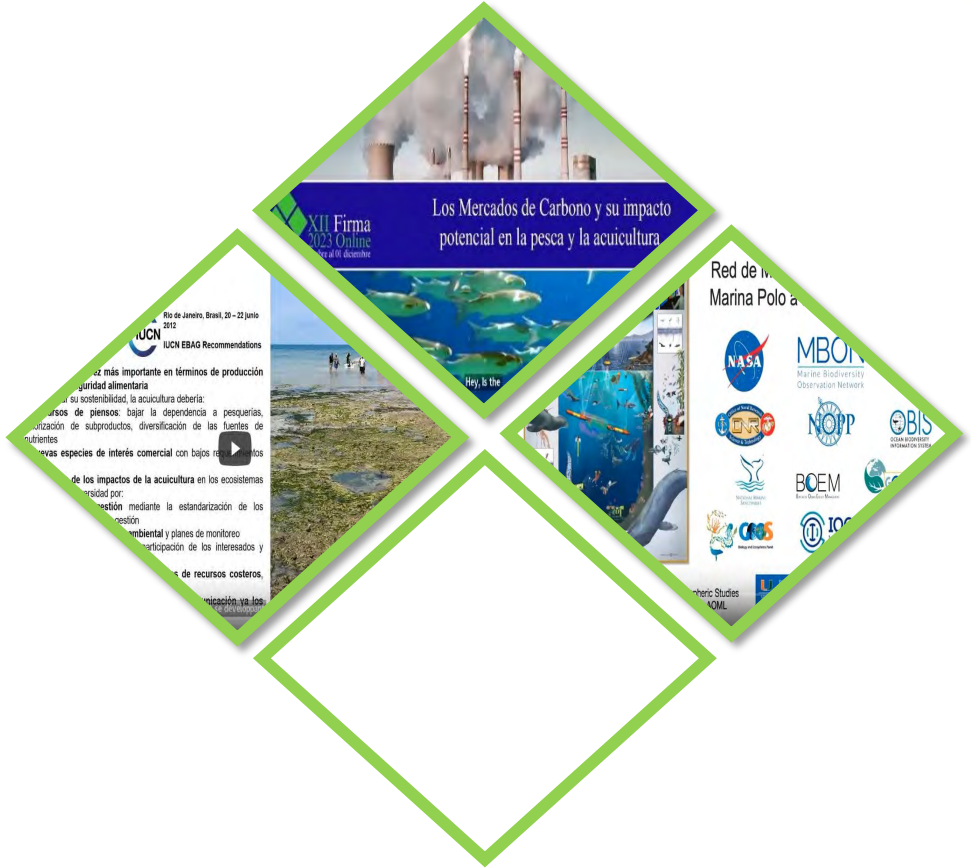


- Kapraun D., Dutcher J., Freshwater D. (1993). Quantification and characterization of nuclear genomes in commercial red seaweeds: Gracilariales and Gelidiales. *Hydrobiologia* 260/261: 679-688.
- Lemus A., Aponte-Díaz M. (1987). Estudio de biomasa y regeneración en algunos bancos naturales de agarófitas en el oriente de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 26(1-2): 37-44.
- Lemus A., Aponte-Díaz M. (1988). Rendimiento y consistencia del agar de *Pterocladia capillacea* (Gmelin) Bornet y Thuret y *Gelidium serrulatum* J. Agardh de las costas orientales de Venezuela. *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 48(1): 35-45.
- Lemus A., Bird K., Kapraun D., Koehn F. (1991). Agar yield, quality and standing crop biomass of *Gelidium serrulatum*, *Gelidium floridanum* and *Pterocladia capillacea* in Venezuela. *Food Hydrocolloids*, 5(5): 469-479. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80105-7](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80105-7)
- Lemus A. (1992). Ensayos de cultivo de la agarofita *Gracilariopsis tenuifrons* Fredericq et Hommersand (Bird et Oliveira) (Rhodophyta) en el oriente de Venezuela. *Memorias VII Simposio Latinoamericano de Acuicultura*, Barquisimeto. pp 140-148.
- Lemus A., Gómez M. (1995). Estimación de la biomasa en un banco de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Gelidiaceae Rhodophyta), en la isla de Margarita, Venezuela. *Saber*, 7(2): 19-23.
- Lemus S., Lemus A., Lemus A. (2023). Características del agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird y Oliveira) Fredericq y Hommersand (Gracilariales, Rhodophyta) sometida a diferentes concentraciones de amonio. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 26(1-2): 37-44.
- León N. (1990). Extracción y evaluación de carragenina de la especie *Hypnea musciformis* (Rhodophyta). Tesis de Pregrado, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 92 pp.

- Loayza R., Lemus A. (1994). Fases de desarrollo *in vitro* del alga agarofita *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Gelidiales, Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 33(1-2): 49-58.
- Montoya E., García Y., Lira C. (2017). Usos y aplicaciones de las macroalgas marinas: una revisión. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 56(2): 89-101.
- Montoya E., Rosas J., Rincones R., Narváez J. (2020). Evaluación del crecimiento de *Euचेuma isiforme* (Rhodophyta, Gigartinales) en sistemas de cultivo suspendidos en la isla de Cubagua, Venezuela (sureste del Mar Caribe). AquaTechnica, 2(2): 86-98.
- Palma H., Muñoz O., Guevara G., Salazar J. (1987). Estudio preliminar del contenido de agar de dos especies de algas rojas (Rhodophyta) *Gracilaria domingensis* Sonder e *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux, de las costas de la isla de Margarita, Venezuela. Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, 37(127-128): 7-23.
- Pérez, J., Alfonsi C., Salazar S., Macsotay O., Barrios J., Martínez R. (2007). Especies marinas exóticas y criptogénicas en las costas de Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 46(1): 79-96.
- Porse H., Rudolph B. (2017). The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. Journal of Applied Phycology. 29: 2187-2200. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1144-0>
- Quintero M., Martínez J., Maldonado C., Leañez J., Duno D. (2020). Efecto de los tratamientos alcalino y de oscuridad-salinidad en agar de *Gracilaria domingensis*. Avances en Química, 15(2): 5-40.
- Racca E. (1966). Estudio sobre la explotación industrial de las algas agarofitas de las costas del norte del estado Falcón, Península de Paraguaná. Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 54 pp.

- Racca E., Hurtado R., Dawes C., Balladares C., Rubio J. (1993). Desarrollo de cultivo de *Gracilaria* en la península de Araya (Venezuela). En: FAO. Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. Zertuche J.A. (ed.). Documento de campo 13, México. Proyecto Aquila II, Programa cooperativo gubernamental, Italia. FAO. GPC/RLA/102/ITA. pp. 39-46.
- Reyna J. (1991). Composición química y propiedades reológicas de agares de tres especies de algas del género *Gracilaria* (*Gracilaria verrucosa* prox., *G. domingensis* y *G. cervicornis*) colectadas en la Península de Araya, estado Sucre. Trabajo de Pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 147 pp.
- Rincones R.E. (1989). Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria debilis* (Gigartinales, Rhodophyta) in the northwest coast of Venezuela. En: Proceedings of the Workshop on "Cultivation of Seaweeds in Latin America". Oliveira E.C., Kautsky N. (eds). International Foundation for Science, Universidad de Sao Paulo. S. Sebastião, Brazil (abril 1989). pp. 65-67.
- Rincones R., Rubio J., Racca E. (1992). *Gracilaria* pilot farming in Venezuela. En: Mshigeni K., Bolton J., Critchley A., Kiangi G. (eds.). Sustainable seaweed resource development in sub-Saharan Africa. University of Namibia, Windhoek. pp. 309-318.
- Rincones R., Yu S., Pedersen M. (1993). Effects of dark treatment on the starch degradation and the agar quality of cultivated *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta, Gracilariales) from Venezuela. *Hidrobiologia*, 260/261: 633-640.
- Rincones R., Rubio J. (1999). Introduction and commercial cultivation of the red alga *Euclima* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquaculture*, 30(2): 57-61.
- Rincones, R.E. (2000). Marine agronomy: A sustainable alternative for coastal communities in developing countries. *Global Aquaculture Advocate*, 3:7 0-72.

- Rodríguez R., Canelón D., Cosenza V., Fissore E., Gerschenson L., Matulewicz M., Ciancia M. (2019). *Gracilariopsis hommersandii*, a red seaweed, source of agar and sulfated polysaccharides with unusual structures. *Carbohydrates Polymeros*. 213: 138-146.
- Smith A., Renard Y. (2002). Seaweed cultivation as a livelihood in Caribbean coastal communities. ICRI Regional Workshop for the Tropical Americas: Improving reefs condition through strategic partnerships. CANARI Comm. 309. Cancún, México (junio 2002). 8 pp.
- Smith A., Rincones R. (2006). Seaweed resources of the Caribbean. En: Critchley A., Ohno M., Largo. D. (eds). *World Seaweed Resources: An authoritative reference system [DVD-ROM]*. University of the Netherlands. 1-14 pp.
- Velásquez A., Ganesan E., Bonilla J. (1988). Field and laboratory studies in the agarophyte *Pterocladia capillacea* (S. G. Gmelin) Burnet y Thuret (Gelidiacea, Rhodophyta) from Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 27(1-2): 3-24.
- Vincenti M. (2010). Información geográfica, biomasa y calidad de agar producido por *Gracilariopsis hommersandii* (Gracilariales, Rhodophyta) en un banco natural de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. Tesis de Pregrado, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. 78 pp.
- Youngs H., Grets M., West J., Sommerfeld M. (1998). The cell walls chemistry of *Bangia atropurpurea* (Bangiales, Rhodophyta) and *Bostrychia moritziana* (Ceramiales, Rhodophyta) from marine and freshwater environments. *Phycological Research*, 46: 63-73.
- Zecchin E., Brito L., Lárez G. (2000). Propiedades físicas del agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariaceae) en Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 48(1): 193-197.



# Conferencias

## Conferencias

### Día 1 | Conferencia inaugural

## Acuicultura y Conservación de la Naturaleza, tendencias actuales y enfoques innovadores

- Francois Simard (Asesor de Pesca de la UICN – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)

**Acuicultura sostenible**

 **RIO+20**  
United Nations Conference  
on Sustainable Development

 **IUCN**  
IUCN EBAG Recommendations

Rio de Janeiro, Brasil, 20 – 22 Junio 2012

**Acuicultura cada vez más importante en términos de producción y apoyo a la seguridad alimentaria**

Para mejorar su sostenibilidad, la acuicultura debería:

- **Recursos de piensos:** bajar la dependencia a pesquerías, valorización de subproductos, diversificación de las fuentes de nutrientes
- **Nuevas especies de interés comercial** con bajos requerimientos tróficos.
- **Reducción de los impactos de la acuicultura** en los ecosistemas locales y la biodiversidad por:
  - **Prácticas de gestión** mediante la estandarización de los protocolos operativos y de gestión
  - **Evaluaciones de impacto ambiental** y planes de monitoreo
  - **Selección robusta del sitio**, participación de los interesados y enfoques basados en el ecosistema
  - **Armonía con la pesca y otros usuarios de recursos costeros**, especialmente a nivel de la comunidad local
  - **Información al público, a los medios de comunicación** y a los responsables de la toma de decisiones

 **zoom**  
et se développant

0:00 / 1:02:20

Día 1 | Conferencia Magistral

## Los mercados de carbono y su potencial impacto para la pesca y acuicultura

- Roberto Arosemena Villarreal (NDC Consulting Group, México)



The banner is divided into three horizontal sections. The top section shows a photograph of an industrial facility with several tall smokestacks emitting thick white plumes of smoke against a clear blue sky. In the top right corner of this section is a small video inset of a man with a beard and glasses, identified as Roberto Aros... The middle section is a solid dark blue bar containing the event logo on the left and the title text on the right. The logo consists of a green diamond shape with white lines forming a grid, followed by the text 'XII Firma 2023 Online' and '27 noviembre al 01 diciembre'. The title text reads 'Los Mercados de Carbono y su impacto potencial en la pesca y la acuicultura.' The bottom section features a photograph of a school of silver fish swimming in clear blue water. The Zoom logo is visible in the bottom right corner, and the text 'Hey, is the' is partially visible in the bottom center.

## Día 2 | Conferencia Magistral

### Biodiversidad Marina Polo a Polo de las Américas

- Enrique Montes (Universidad de Miami CIMAS/NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, USA).



### Red de Monitoreo de Biodiversidad Marina Polo a Polo de las Américas



Enrique Montes (enrique.montes@noaa.gov)  
U-Miami Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Studies  
Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory - AOML  
National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA





### Dia 3 | Conferencia Magistral

## Sustainable contribution of amino acids from animal proteins vs marine proteins for livestock nutrition

- Charles Starkey (The North American Renderers Association, USA) –

The image shows a video player interface for a conference. The main content is a circular graphic with a play button in the center. The text inside the circle reads: "DÍA MUNDIAL DE LA ACUICULTURA" and "SOSTENIBILIDAD EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA AZUL". The background of the circle features various images related to aquaculture, including fish, a hand holding a fish, and a computer monitor. To the right of the circle, there is a yellow box with the date "30 DE NOVIEMBRE" and text indicating the location: "Instalaciones del GIA-ECOQUA Carretera de Taliarte, S/N Telde - Gran Canaria". Below the main graphic, there are logos for organizing institutions: ULPGC (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria), Fundación Perpetua Científica Tecnológica, ULPGC (Instituto Universitario de Acuicultura Sostenible y Ecosistemas Marinos), ECOQUA (Comunidad de Gran Canaria), and spegc (Sociedad Española de Acuicultura). There are also logos for funding: "Cofinanciado por la Unión Europea" and "Fondos Europeos". The video player controls at the bottom show a play button, a progress bar at 0:00 / 5:01:52, and a "Inicio" button.

Organiza:

Financia:

30 DE NOVIEMBRE

Instalaciones del GIA-ECOQUA  
Carretera de Taliarte, S/N  
Telde - Gran Canaria

DÍA MUNDIAL DE LA ACUICULTURA

SOSTENIBILIDAD EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA AZUL

ULPGC Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
Fundación Perpetua Científica Tecnológica  
ULPGC Instituto Universitario de Acuicultura Sostenible y Ecosistemas Marinos  
ECOQUA Comunidad de Gran Canaria  
spegc Sociedad Española de Acuicultura

Cofinanciado por la Unión Europea  
Fondos Europeos  
Cámaras Producción EN-7RE

0:00 / 5:01:52 • Inicio >

Día 4 | Conferencia Magistral

## Acuicultura: desafíos y oportunidades

- Humberto Villarreal (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – CIBNOR / Presidente de la Asociación Mundial de Acuicultura – WAS, México)



**WORLD AQUACULTURE Society** **CIB** 

**ACUICULTURA:**  
Desafíos y oportunidades

Dr. Humberto Villarreal  
Presidente  
World Aquaculture Society  
humberto04@cibnor.mx

**XII FIRMA 2023 Online**  
FORO IBEROAMERICANO DE LOS RECURSOS  
MARINOS Y LA ACUICULTURA  
DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 1 DE DICIEMBRE

**zoom**

HUMBERTO VL.

Día 5 | Conferencia Magistral

**Innovación para asegurar un futuro sostenible de la industria acuícola**

- Alex Obach (Skretting, Noruega)

1980-2000  
Marine ingredients

2000-2020  
+ vegetable and animal ingredients

SKRETTING

SKRETTING  
a Nutreco company

ULPGC

Innovación para asegurar un futuro sostenible de la industria acuícola

Alex Obach  
...on Contenter, of Em, he's in a castle, the  
Skretting, Noruega

zoom





# Sesiones

## Sesiones de trabajo

### Sesión 1: Recursos acuáticos

**Coordinador:** José Alió (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador)

- David Die (Universidad de Miami, USA) – Gestión adaptativa de los recursos atuneros
- Ricardo Burgos (Universidad Estatal Amazónica, Ecuador) – Pesquerías en la Amazonía ecuatoriana, problemas de su invisibilidad y aporte al desarrollo local
- Luís González (CENIPA, Venezuela) – Explotación de los recursos pesqueros con destino a exportación: consecuencias y beneficios (caso Tajalí-corbata-sable-Largehead hairtail, *Trichiurus lepturus*)
- Jon López (IATTC, USA) – Avances en los sistemas de reducción de capturas incidentales en la pesca con palangre superficial

The image shows a Zoom meeting interface. The main content is a presentation slide with a blue and white background. The slide title is "EXPLORACION DE LOS RECURSOS PESQUEROS CON DESTINO A EXPORTACION" and the subtitle is "CONSECUENCIAS Y BENEFICIOS". Below the title, it says "Caso Tajalí – corbata – sable - Largehead hairtail" and "Trichiurus lepturus". There is an image of a fish. At the bottom right of the slide, it says "LUIS GONZALEZ CENIPA VENEZUELA". The Zoom interface includes a top bar with "CONFERENCIA FIRMA 2023 LUIS GONZALEZ CENIPA VENEZUELA" and a search bar. On the right, there is a video feed of a man wearing glasses, identified as "José Javier Alió". The Zoom logo is visible in the bottom right corner.

## Sesión 2: Recursos acuáticos

### Coorganizada con la World Wildlife Fund - WWF - Ecuador

**Coordinador:** WWF: Tarcisio Granizo (Director País, Ecuador)

- Arturo González (WWF, Ecuador)
- Mauricio Mejía (WWF, Guatemala)
- Gilary Morales Tejeda (WWF, Perú)

The image shows a Zoom meeting interface. In the top right corner, there is a video feed of Tarcisio Granizo. The main area displays a Google Slides presentation. The slide has a green and white logo for 'Firma ZOOM TEAM' and a background image of a coastal scene with wooden poles in the water. The text on the slide asks: '¿Qué proceso de intervención efectiva podría tener WWF-Ecuador en Galápagos para lograr el emprendimiento de estudios (junto con la academia y el Parque Nacional Galápagos) para una acuicultura regeneradora o restaurativa del pepino de mar en Galápagos?'. Below the slide, there is a video player with a 'Botón de reproducción (k)' and a progress bar showing 57:59 / 1:29:59. The Zoom logo is visible in the bottom right corner of the slide area.

### Sesión 3: Biodiversidad y Acuicultura

#### Coorganizada con el Instituto ECOAQUA, ULPGC

**Coordinador:** Ricardo Haroun Tabraue (ULPGC, España)

- Jorge Sonnenholzner Varas (UTM, Ecuador) – Aplicación experimental de herramienta multitrófica para restauración de bancos de equinodermos
- Domingo Rodríguez / Rafael Franco (Acuario de Foz de Iguazú / Acuario de Río de Janeiro, Brasil) – Papel de Acuarios públicos en la sensibilización ciudadana en conservación biodiversidad acuática
- Luis A. Felaco Durán (Aquatics Group, México) – La diversificación en el cultivo de holoturidos en Latinoamérica: especies, tecnologías, sistemas de cultivo y sociedad
- Sandra Navarro Mayoral (ECOAQUA, España) – Dinámica y usos potenciales de la macrofauna asociada al biofouling de jaulas oceánicas

en términos económicos cuáles son los conceptos más representativos en la operación de la granja y qué estrategias emplear para reducir su impacto en la rentabilidad de la granja

Francisco

We're gonna, it's also, in Dr. Sorekarimianos, the.

5:14 / 2:42:22

## Sesión 4: Bioinvasores: Efectos e impactos en América del Sur

### Coorganizada con el Grupo eMIAS

**Coordinador:** Gustavo Darrigran (Universidad Nacional de La Plata – CONICET, Argentina)

- Gustavo Darrigran (Universidad Nacional de La Plata – CONICET, Argentina) – Breve introducción a las bioinvasiones
- Rodolfo Elias (Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina) – Ingeniero ecosistémico vs poliqueto invasor
- Ximena María Constanza Ovando (Universidad Federal de Juiz de Fora, Brasil) – Decápodos no nativos en América del Sur: evaluación de riesgos e impactos potenciales
- Lucia Boccardi / Ernesto Brugnoli (Latitud-Fundación LATU / Universidad de la República Uruguay, Uruguay) – Plantas acuáticas invasoras en América Latina: origen, impactos y manejo
- Carlos Eduardo Belz (Universidad Federal de Paraná, Brasil) – Invasões Biológicas e seus Impactos na Aquicultura
- Alfredo Vilches (Universidad Nacional de La Plata, Argentina) – El rol de la educación y su incidencia en la prevención de la introducción de especies no nativas y las invasiones biológicas

**BIOINVASORES**  
Efectos e Impactos en América del Sur

**Descripción:** es el estudio descriptivo del evento, acompañados de estudios experimentales, dinámica poblacional, análisis estadísticos, etc.

**Predicción:** la generación del fundamento sobre la probabilidad de que ocurra un evento de invasión

**Riesgo:** es el producto de la probabilidad de que ocurra un evento y sus consecuencias

**Compromiso Gubernamental**  
**Políticas gestión ambiental**

**Generar conocimiento**

**Educación y Difusión Científica**

- **Curricula:** introducción el tema
- **Formación de los docentes en los distintos niveles**
- **Concienciar a la comunidad toda**

Firma 2023 0:00 / 3:03:37 **BIOINVASORES** Hi. Bur. K. Efectos e Impactos en América del Sur

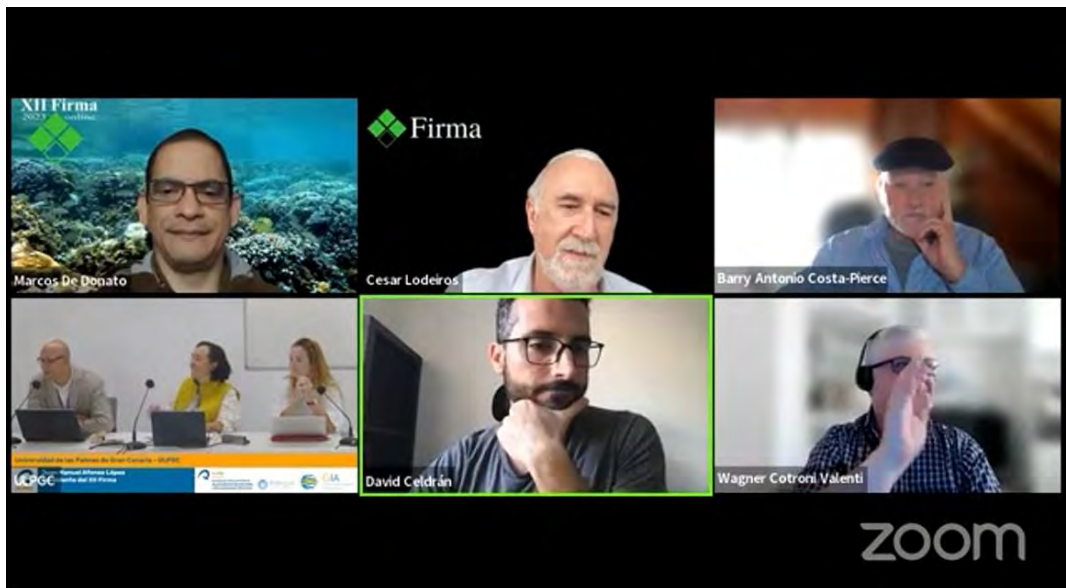


## Sesión 5: Economía circular y estrategia sostenible

### Coorganizada con el Instituto ECOAQUA, ULPGC

**Coordinadora:** Lidia Robaina Robaina (ULPGC, España)

- Barry Costa Pears (Norway-USA) – La estrategia renovada de crecimiento que la acuicultura necesita: nutrición, sociedad, cambio ambiental y climático, economía y economía local
- Lidia Robaina (ULPGC, España) – La acuicultura motor de innovación y trabajo colaborativo en EC regional. ISLANDAP ADVANCED proyecto de éxito en Acuaponía.
- Wagner Cotroni Valenti (Universidad Estatal de São Paulo – UNESP, Brasil) – Indicadores de sostenibilidad de la acuicultura y experiencias en IMTA en Brasil
- Gercende Courtois (ULPGC, España) – IMTA desarrollos en el Espacio Atlántico
- Manuel David Celdrán (Bioaquafloc LLC, España) – Innovación en Tecnología Simbiótica con Clusters microbianos



## Sesión 6: Nutrición

### Coorganizada con el Instituto ECOAQUA, ULPGC

**Coordinador:** Daniel Montero Vitores (ULPGC-NARA, España)

- Daniel Lemos (Universidad de Sao Paul, Brasil) – Nutrición en la producción de pescado y para la salud humana
- Patricio Dantagnan (Universidad Católica de Temuco, Chile) – Microorganismos unicelulares como potenciales fuentes de nutrientes en la nutrición de salmones
- Daniel Montero Vitores (ULPGC, España) – Aditivos funcionales en la salud de peces marinos
- Jef Peeters (Biomar, USA) – Evolución de la tasa de crecimiento de las larvas del camarón

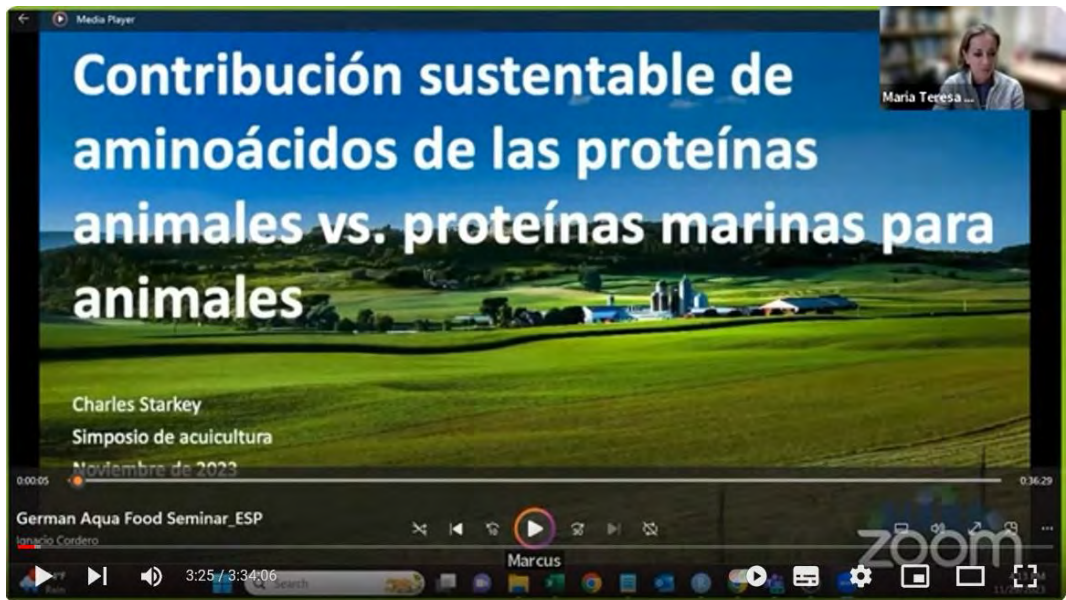


## Sesión 7: Simposio sobre el uso de coproductos de origen animal en acuicultura

**Coorganizado con North American Renderers Association, NARA**

**Coordinadora:** María Teresa Viana (Universidad Autónoma de Baja California, México)

- José Antonio Mata-Sotres (Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México) – Uso de harinas animales de reciclamiento en peces carnívoros
- Louis R. D’Abramo (Mississippi State University, USA) – The path to sustainable aqua feeds- A holistic approach
- María Teresa Viana (Universidad Autónoma de Baja California, México) – Uso de isótopos estables como una herramienta para la nutrición de organismos acuáticos



## Sesión 8: Inmunología / Patología

### Coorganizada con la International Society of Fish and Shellfish Immunology, ISFSIM

**Coordinador:** Jorge Galindo-Villegas (Nord University / Presidente del International Society of Fish and Shellfish Immunology, ISFSIM, Noruega)

- Patricia Pereiro (IIM Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España) – Estrategias actuales y futuras para la prevención y control de enfermedades bacterianas y virales en acuicultura
- Jaime Tobar (Addifarm SpA, Chile) – La vacunación y detección temprana como estrategias frente a enfermedades de alto impacto en peces de cultivo
- Carlos E. Pulgarin (Center for Aquaculture Technology, USA-Colombia) – Selección genética, herramienta para la resistencia a enfermedades y adaptación a factores ambientales en especies acuícolas
- Felipe A. Briceño Jacques (Fundación Niva Chile Research, Chile, Chile) – Bienestar animal en acuicultura: Avances desde la fisiología e inmunología
- Joana P. Firmino (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, Italia) – Aditivos para piensos de acuicultura – Marco de la Unión Europea



## Sesión 9: Edición de genes y transgénicos en acuicultura

Coorganizada con The Center for Aquaculture Technologies, CAT

Coordinador: Marcos De Donato (The Center for Aquaculture Technologies, México)

- Marcos De Donato (The Center for Aquaculture Technologies, México) – Entendiendo la edición de genes y organismos transgénicos
- Alejandro Gutiérrez (The Center for Aquaculture Technologies, UK) – Mejoramiento genético en acuicultura a través de edición génica
- Ana Granados Chapatte (Criadores Europeos de Animales de Granja (EFFAB), Bélgica) – Desarrollos regulatorios actuales para la edición genética en Europa
- Carlos Fajardo (Universidad de Cádiz, España y CIIMAR, Portugal) – Estado actual de la legislación sobre organismos genéticamente modificados (OGM)





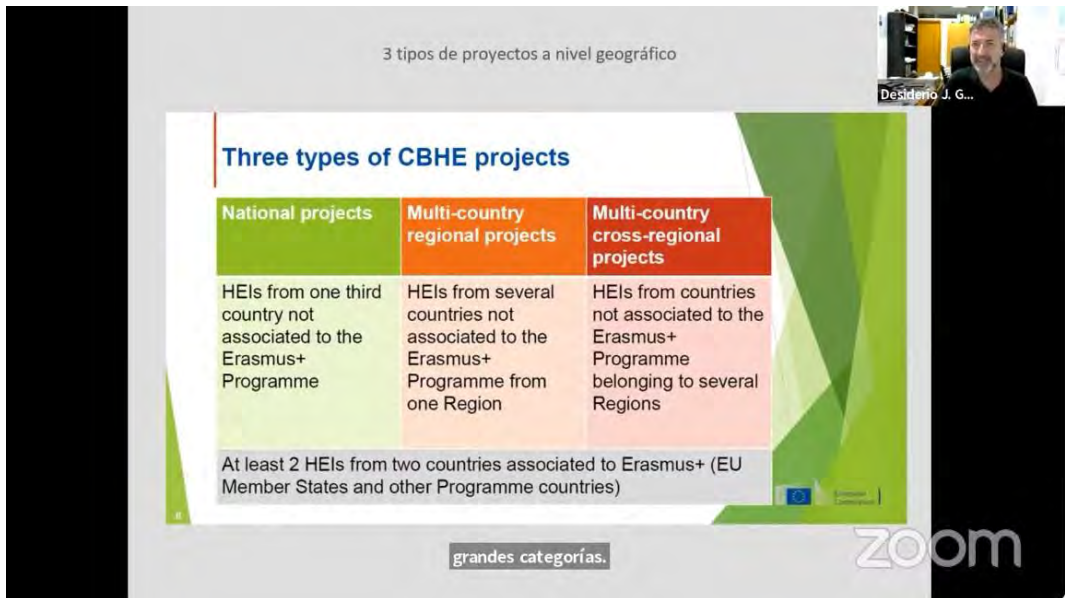
## Sesión 11: Cooperación Iberoamericana

**Coorganizada con la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)**

**Coordinadora:** Nieves González-Henríquez (ULPGC, España)

- Desiderio Juan García-Almeida (ULPGC, España) – Proyectos europeos Erasmus+ para la cooperación internacional
- Guadalupe Martín Pardo (Centro Tecnológico del Mar – Fundación CETMAR, España) – Buenas Prácticas en la Cooperación Iberoamericana para el desarrollo del sector pesquero y acuícola
- Marceliano Segura Zamudio (KOPELAR, Perú) – Cooperación Internacional de Corea del Sur: ¿Por qué un Centro de Investigación y Capacitación en Acuicultura en Perú?

3 tipos de proyectos a nivel geográfico



**Three types of CBHE projects**

National projects	Multi-country regional projects	Multi-country cross-regional projects
HEIs from one third country not associated to the Erasmus+ Programme	HEIs from several countries not associated to the Erasmus+ Programme from one Region	HEIs from countries not associated to the Erasmus+ Programme belonging to several Regions

At least 2 HEIs from two countries associated to Erasmus+ (EU Member States and other Programme countries)

grandes categorías.

zoom



# Posters





Biodiversidad, conservación y evaluación de recursos

9 - Estudio de la conectividad genética entre poblaciones atlanto-mediterráneas del cangrejo marino *Liocarcinus depurator*

Francisco Mestres Naval, Sergi Lacueva Llorens, Natalia Campaña González, Pere Abelló Sala

The image shows the top portion of a scientific abstract. At the top, there is a banner for 'XII Firma 2023 online' with logos for 'UNIVERSITAT DE BARCELONA', 'IRIBIO', 'ICM', and 'MARGECH'. Below the banner, the title 'ESTUDIO DE LA CONECTIVIDAD GENÉTICA ENTRE POBLACIONES ATLANTO-MEDITERRÁNEAS DEL CANGREJO MARINO *LIOCARCINUS DEPURATOR*' is displayed in bold blue text. The authors 'Mestres F<sup>1</sup>, Lacueva S<sup>1</sup>, Campaña N<sup>1</sup>, Abelló P<sup>2</sup>' are listed below. Two affiliations are provided: <sup>1</sup>Dept. de Genètica, Microbiologia i Estadística, Universitat de Barcelona, Barcelona. and <sup>2</sup>Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC), Barcelona. An email address 'E-mail: fmestres@ub.edu' is also present. The section 'INTRODUCCIÓN' begins with the text: 'Un crustáceo habitual de las lonjas y pescaderías de las costas españolas es el cangrejo de sopa o falsa nécora (*Liocarcinus depurator*). Su principal uso es como componente gastronómico de platos de arroz, sopas de pescado o salidas de marisco. Desde una

10 - Ciencia escolar. La acuicultura como estrategia de conservación

Miguel Torres Rodríguez, María Victoria García Caro, Juan Diego Díaz Martínez

The image shows the top portion of a paper abstract. It features a green background with a white banner at the top left that says 'XII Firma 2023 online'. The main title 'CIENCIA ESCOLAR' is written in large, bold, white letters on a black rectangular background. Below it, the subtitle 'LA ACUICULTURA COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN' is written in bold, black letters on a white banner. At the bottom, the authors 'Miguel Torres Rodríguez 1\*, María Victoria García Caro 2, Juan Diego Díaz Martínez 2' are listed in bold black text. There are also some small fish icons on the left side of the abstract.



25 - Diagnóstico de la producción de ostión *Crassostrea spp* e impactos ecosistémicos en la región de Manzanillo, Cuba

Juan José Suárez-Gamboa, Abel Betanzos-Vega, Gustavo Arencibia-Carballo, Maximiliano Pérez Prohenza, Jorge Tello Cetina

The image shows the cover of a scientific paper. At the top, there is a header with the text 'XII Firma 2023 online' and several logos including 'Empresa Pesquera Industrial de Granma (EPIGRAN)', 'EPIGRA', 'CIP', and 'IICA'. Below the header, the title 'Diagnóstico de la producción de ostión *Crassostrea spp* e impactos ecosistémicos en la región de Manzanillo, Cuba' is prominently displayed. Underneath the title, the authors' names are listed: 'Juan José Suárez-Gamboa<sup>1</sup>, Abel Betanzos-Vega<sup>2</sup>, Gustavo Arencibia-Carballo<sup>2</sup>, Maximiliano Pérez Prohenza<sup>1</sup>, Jorge Arturo Tello Cetina<sup>3</sup>'. At the bottom, there are three footnotes providing details about the institutions: <sup>1</sup>Empresa Pesquera Industrial de Granma (EPIGRAN), Carretera a Ciudad Pesquera. CP 87510. Manzanillo, Granma, Cuba. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle No. 503 entre 5ta Ave y Mar, Santa Fe. C.P. 19100. La Habana, Cuba. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Mérida. Dpto. Química-Bioquímica, Laboratorio de Enzimología Marina. Av. Tecnológico km 4.5 s/n, CP 97118, Mérida, Yucatán, México. E-mail: [jsuarez035@gmail.com](mailto:jsuarez035@gmail.com)

42 - Estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile. Provincia de Santa Elena: MBON P2P una herramienta innovadora de muestreo

Víctor Andrade Solorzano, Erika Salavarría, Luis Troccoli

The image shows the cover of a scientific paper. At the top, there is a header with the text 'XII Firma 2023 online' and logos for 'UPSE' and 'MBON Marine Biodiversity Observation Network'. Below the header, the title 'Estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile. Provincia de Santa Elena: MBON P2P una herramienta innovadora de muestreo' is displayed. Underneath the title, the authors' names are listed: 'Andrade-Solorzano Víctor<sup>1</sup>, Salavarría Erika<sup>1,2</sup> & Troccoli Luis<sup>2,3</sup>'. At the bottom, there are three footnotes: <sup>1</sup>Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE. Facultad de Ciencias del Mar. Grupo de Investigación Bioeconomía Costera. <sup>2</sup>Marine Biodiversity Observation Network MBON. <sup>3</sup>Universidad de Oriente. Venezuela. E-mail: [vjaas0006@gmail.com](mailto:vjaas0006@gmail.com)

**Introducción**  
La Red de Observación de la Biodiversidad Marina Polo a Polo (MBON Pole to Pole) se define como una comunidad internacional que trabaja de manera colaborativa para recopilar, preservar y analizar datos de biodiversidad marina de manera continua, con el fin de adquirir conocimiento sobre la situación y las direcciones que toma la vida en los océanos. El protocolo MBON P2P es una herramienta que permite una caracterización de las comunidades de organismos presentes en la zona intermareal, y permite

46 - Variabilidad de la proporción de fases del alga roja *Mazaella canaliculata* "Flor de mar" en la bahía de Mendieta

Max Stevens Castañeda Franco, Arturo J. Mires Reyes, Antonio Calderón Navarro, Paul Martin Baltazar Guerrero

**XII Firma 2023 online**

**LICMA** UNIVERSIDAD CIENTÍFICA

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE DE 2023

Per la sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura

## Variabilidad de la proporción de fases del alga roja *Mazaella canaliculata* "Flor de mar" en la bahía de Mendieta.

Castañeda-Franco M., Mires-Reyes A., Calderón, A., Baltazar, P.

Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA)  
Grupo de Investigación en Acuicultura Sostenible (GIAS)  
Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación  
Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú  
E-mail: mcastanedaf@cientifica.edu.pe

### INTRODUCCIÓN

*Mazaella canaliculata* es una macroalga roja con un ciclo de vida trifásico isomórfico, es decir, presenta tres

47 - Importancia de las macroalgas en el Perú

Anthony Cesar Gutiérrez Severino

**XII Firma 2023 online**

**BIOMAR** UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

2023 DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE DE 2023

Per la sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura

# IMPORTANCIA DE LAS MACROALGAS EN EL PERÚ

Anthony Cesar Gutierrez Severino

Carrera de Ingeniería Acuícola, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas  
Universidad Científica del Sur-Perú

E-mail: anthonyproject5231@gmail.com

51 - Variación temporal y espacial de la comunidad de copépodos alrededor de la isla de La Picuda, Parque Nacional Mochima, estado Sucre, Venezuela

Erika Gabriela Fuentes Blanco, Brightdoom Josefina Márquez Rojas, Katiana Cedeño, Josefa Morales, Hernán José Marín Gonzales, Elizabeth del Valle Machado Rengel, Feliene Ester Rodríguez López

The cover features logos for 'XII Firma 2023 online', 'UNIVERSIDAD DE ORIENTE VENEZUELA', and 'CENIPA'. The title is prominently displayed in bold black text. Below the title, the authors' names are listed with superscripted numbers. The text includes the affiliation 'Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Venezuela' and contact information for Erika Fuentes. A 'Resumen' section at the bottom states that the study aimed to determine the temporal and spatial variation of the copepod community around Isla La Picuda from January to August 2021.

67 - Variabilidad espacial y temporal del zooplancton durante un año en el nororiente de Venezuela

Brightdoom Márquez-Rojas, Josefa Morales, Katiana Cedeño, Luis Troccoli, Andres Montes

The cover includes logos for 'XII Firma 2023 online', 'SIGEPROCC', and 'CENIPA'. The title is centered in bold black text. The authors' names are listed below, with superscripted numbers. Affiliations are provided for each author. A 'Resumen' section at the bottom explains that marine zooplankton is important as the second link in the food chain, serving as a basic food source for the main fishery species, *Sardinella aurita*.

70 - Estudio preliminar de la abundancia de *Hippocampus* spp. en cuatro hábitats naturales de la Bahía de Turpialito, estado Sucre, Venezuela  
 Mariela Del Valle Cova Morales, Antulio Servio Prieto Arcas, Roger Velásquez, Esaul Prieto, Roseulys Benítez

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left. In the center, there are logos for 'INIA' (Instituto Nacional de Tierras ORT-Sucre), a compass rose, and 'UP' (Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre). Below these is the date 'Del 27 de noviembre al 07 de diciembre de 2023' and the title 'ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA ABUNDANCIA POBLACIONAL DE Hippocampus spp. EN CUATRO HÁBITATS NATURALES DE LA BAHÍA DE TURPIALITO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA.' The authors listed are Mariela Cova<sup>1</sup>, Antulio Prieto<sup>2</sup>, Roger Velásquez<sup>2</sup>, Esaul Prieto<sup>3</sup>, and Roseulys Benítez<sup>3</sup>. A yellow button labeled 'RESUMEN' is prominent. On the right, there are three small illustrations of seahorses. At the bottom, a short abstract in Spanish is visible, mentioning the study of two seahorse species in the Turpialito Bay.

73 - Caracterización de los recursos pesqueros de la laguna de Tres Palos, Guerrero, México  
 Nidia Farrera Toledo, Adriana Alatorre Alba

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left. In the center, there are logos for 'AGRICULTURA' and 'INAPESCA'. Below these is the date 'Del 27 de noviembre al 07 de diciembre de 2023' and the title 'Caracterización de los recursos pesqueros de la laguna de Tres Palos, Guerrero, México.' The authors listed are Nidia Farrera Toledo<sup>1</sup> & Adriana Alatorre Alba<sup>1</sup>. A yellow button labeled 'RESUMEN' is prominent. On the right, there is a small map of Mexico highlighting the location of the lagoon. At the bottom, a short abstract in Spanish is visible, mentioning the study of fish resources in the Tres Palos lagoon.

## 74 - Variación espacial y temporal del ictioplancton en la costa nororiental de Venezuela

María José Marcano Rodríguez, Katiana María Cedeño González, Brightdoom Josefina Márquez Rojas, Hernán José Marín González, Elizabeth del Valle Machado Rengel, Feliene Esther Rodríguez López



## 76 - Influencia del coral *Unomia stolonifera* (Gohar, 1938) en la macrofauna bentónica asociada al intermareal rocoso del Parque Nacional Mochima, Venezuela

Johanna Fernández Malavé, Sinatra Salazar, Andrés Montes



80 - Análisis de Variables Físicoquímicas del Agua, y su Fluctuación Espacio?Temporal en el Refugio de Fauna y Reserva de Pesca Laguna Boca de Caño, Estado Falcón, Venezuela

Jesús Alberto Méndez Martínez, Jeny Reyes, María Guanipa

**XII Firma 2023 online**

FOR THE SUSTAINABILITY OF THE AQUATIC RESOURCES AND FISHERIES

**Análisis de Variables Físicoquímicas del Agua, y su Fluctuación Espacio-Temporal en el Refugio de Fauna y Reserva de Pesca Laguna Boca de Caño, Estado Falcón, Venezuela.**

Jesús A. Méndez Martínez <sup>1</sup>; Jeny Reyes <sup>2</sup>; María V. Guanipa <sup>1</sup>

Campo Experimental Las Piedras, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Punto Fijo Edo. Falcón

1. Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, División de Estudios para Graduados.

Autor de correspondencia: [jemendez@inia.gov.ve](mailto:jemendez@inia.gov.ve) / [adicorence@gmail.com](mailto:adicorence@gmail.com)

**INTRODUCCIÓN**

Las lagunas costeras se definen "como ecosistemas muy fluctuantes caracterizados fundamentalmente por la mezcla de aguas continentales y marinas, donde la intensidad y frecuencia de esta mezcla, determina en su mayor parte los cambios estacionales de las características químicas del agua y de las poblaciones biológicas; se encuentran ubicadas en sectores con fuerte dinámica marina, sujetos a cambios rápidos en sus características tanto morfo sedimentológicas como ambientales" (Yáñez-Arancibia y col. 2014). Representan sistemas relativamente someros, parcial o totalmente separados del mar por la presencia de barreras de arena que se forman como resultado del oleaje y la influencia de las mareas; pueden presentar uno o varios aportes fluviales (Kjerfve, 1994). Poseen una elevada productividad y constituyen reservorios importantes de diversidad biológica en comunidades de vertebrados e invertebrados como el zooplancton (Souza y col. 2011). El presente trabajo de investigación se fundamenta en el

84 - Primer reporte del camarón tigre *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) en la laguna de Punta de Piedras, Isla de Margarita, estado Nueva Esparta Venezuela

Luis del Valle González Rodríguez, José Guaiquirán, Yormaris Hernández, Luis Salazar

**XII Firma 2023 online**

Ministerio del Poder Popular para el Poder Judicial

Ministerio del Poder Popular para el Poder Judicial

Ministerio del Poder Popular para el Poder Judicial

Ministerio del Poder Popular para el Poder Judicial

**CENIPA**

FOR THE SUSTAINABILITY OF THE AQUATIC RESOURCES AND FISHERIES

**PRIMER REPORTE DEL CAMARON TIGRE *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) EN LA LAGUNA DE PUNTA DE PIEDRAS, ISLA DE MARGARITA, ESTADO NUEVA ESPARTA VENEZUELA.**

**FIRST REPORT OF THE TIGER SHRIMP *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) IN THE PUNTA DE PIEDRAS LAGOON, MARGARITA ISLAND, ESTADO NUEVA ESPARTA, VENEZUELA.**



94 - Evaluación preliminar del estado poblacional de *O. argentinensis* en el estuario externo del río Negro, Río Negro.

Victor Andrés Ulloa, Anibal Timoteo Méndez , Aimé Itatí Funes, Romina Belén Baggio, Fabiana Lo Nostro, Andrea Diana Tombari



**XII Firma 2023 online**

Universidad Nacional de Río Negro

CONICET

**Evaluación preliminar del estado poblacional de *O. argentinensis* en el estuario externo del río Negro, Río Negro.**

Ulloa VA<sup>1</sup>; Méndez AT<sup>1</sup>; Funes AI<sup>1,2</sup>; Baggio RB<sup>1,2</sup>; Lo Nostro FL<sup>3</sup> y Tombari AD<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Contaminación Ambiental (CIT Río Negro-CONICET), Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro, Rotonda Cooperación y RP N° 1, 8500 - Viedma, Argentina.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Transferencia Río Negro (CONICET-UNRN), Viedma, Río Negro, Argentina.

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecotoxicología Acuática (LEA), Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental (DBBE), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Ciudad Universitaria, C1428EGA -

95 – Ictioplancton del río Paraná (Misiones, Argentina) en las diferentes etapas de llenado del embalse de Yacretá

Alicia Álvarez, María José Kuchurak, Gladys Graciela Garrido, Danilo Aichino



**XII Firma 2023 online**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales

**Ictioplancton del río Paraná (Misiones, Argentina) en las diferentes etapas de llenado del embalse de Yacretá**

Álvarez, Alicia,<sup>1</sup>; Kuchurak, María José<sup>2</sup>, Garrido, Gladys<sup>3</sup>, Aichino, Danilo<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Proyecto Ictioplancton del Río Paraná, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales Universidad Nacional de Misiones (Argentina).

E-mail: alyalvz@gmail.com

**INTRODUCCION**

El río Paraná es el décimo río más largo en el mundo, tiene un área de drenaje de 2.8 x 108 ha. La represa de Yacretá es un gran embalse sobre el río Paraná y su nivel se ubica en los 378

105 - Primer reporte del bagre marino *Genidens barbatus* (Siluriforme, Ariidae) en la bahía de Puerto San Julián, Santa Cruz Argentina

María Cecilia González Dubox, Romina Baggio, Aimé Funes, Laura López Greco, Andrea Tombari



106 - Dime qué comes y te diré dónde vives - Aproximación al conocimiento de los hábitos alimenticios del bagre marino *Genidens barbatus* (Lacepede, 1803), de distribución patagónica

María Cecilia González Dubox, Sofia Cordoba Gironde, Laura Susana López Greco, Andrea Diana Tombari



## 126 - Criopreservación espermática en *Chirostoma jordani* y *C. humboldtianum*

Jesús Dámaso Bustamante-González, Alejandro Ávalos-Rodríguez, Gerardo Figueroa-Lucero, María Cecilia Hernández-Rubio, Araceli Cortés-García, Abraham Kobelkowsky-Díaz

The image shows the cover of a scientific article. At the top left is the logo for 'XII Firma 2023 artículo'. At the top right is the logo of the 'UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Unidad Xochimilco'. Below the logos is the title 'Criopreservación espermática en *Chirostoma jordani* y *C. humboldtianum*'. The authors are listed as '1Bustamante-González, J.D., 2Ávalos-Rodríguez, A., 1Figueroa-Lucero, G., 3Hernández-Rubio, M.C., 4Cortés-García, A., 5Kobelkowsky-Díaz, A.'. Below the authors are their affiliations: 1Planta Experimental de Producción Acuicola, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I); 2Laboratorio de Bioquímica de la Reproducción, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X); 3Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional; 4Laboratorio de Reproducción Genética y Sanidad Acuicola, UAM-X, Goyacán GDMX; 5Laboratorio de Peces, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I). The email address is 'E-mail: [jesusbustamantegonzalez@gmail.com](mailto:jesusbustamantegonzalez@gmail.com)'. At the bottom, the word 'INTRODUCCIÓN' is visible.

## 127 - Capacidad fecundante post-mortem como mecanismo de conservación: Estudio de caso *Chirostoma jordani*

Valeria Negrete-Castro, Jesús Dámaso Bustamante-González, Gerardo Figueroa-Lucero, Alejandro Ávalos-Rodríguez, Araceli Cortés-García, Abraham Kobelkowsky-Díaz

The image shows the cover of a scientific article. At the top left is the logo for 'XII Firma 2023 artículo'. At the top right is the logo of the 'UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Unidad Xochimilco'. Below the logos is the title 'CAPACIDAD FECUNDANTE POST-MORTEM COMO MECANISMO DE CONSERVACIÓN: ESTUDIO DE CASO *Chirostoma jordani*'. The authors are listed as '1Negrete-Castro, V., 2Bustamante-González, J.D., 2Figueroa-Lucero, G., 3Ávalos-Rodríguez, A., 4Cortés-García, A., 5Kobelkowsky-Díaz, A.'. Below the authors are their affiliations: 1 Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X); 2 Planta Experimental de Producción Acuicola, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I); 3 Laboratorio de Bioquímica de la Reproducción, UAM-X; 4 Laboratorio de Reproducción, Genética y Sanidad Acuicola, UAM-X; 5 Laboratorio de Peces, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I). The email address is 'E-mail: [jesusbustamantegonzalez@gmail.com](mailto:jesusbustamantegonzalez@gmail.com)'.

### 131 - Variación del consumo de oxígeno a diferentes temperaturas en langostas *Panulirus argus* (LATREILLE, 1804)

Gerardo Suárez Álvarez, Teresita de Jesús Romero López, Oviana Oquendo Pérez, Sayuri Cápiro Calcedo



**XII Firma 2023 online**



Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

DEL CONSUMO DE OXÍGENO DE LAS LANGOSTAS ESPINOSAS, A DIFERENTES TEMPERATURAS

**VARIACIÓN DEL CONSUMO DE OXÍGENO A DIFERENTES TEMPERATURAS EN LANGOSTAS *Panulirus argus* (LATREILLE, 1804).**

Gerardo Suárez Álvarez<sup>1</sup>, Teresita de Jesús Romero López<sup>2</sup>, Oviana Oquendo Pérez<sup>1</sup> y Sayuri Cápiro Calcedo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), 5ta Ave. y 246. Barvento. Santa Fe, Playa, La Habana Cuba. A  
<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae), Calle 114 No. 11901, Marianao, La Habana Cuba

[gerardoelny650@gmail.com](mailto:gerardoelny650@gmail.com)

La tasa metabólica de la langosta espinosa *Panulirus argus* se estimó como 46.9 mg O<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> a 20°C para ejemplares de 520 g de peso medio. Los estudios sobre el recambio de agua

### 133 - Uso potencial de las macroalgas marinas presentes en el litoral rocoso de Punta Cabo Negro, Isla de Margarita, Venezuela

Yormarys Fernández Fuentes, José Guaiquirián, Nacarid González



**XII Firma 2023 online**



Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

DEL USO POTENCIAL DE LAS MACROALGAS MARINAS PRESENTES EN EL LITORAL ROCOSO

*Uso potencial de las macroalgas marinas presentes en el litoral rocoso de Punta Cabo Negro, Isla de Margarita, Venezuela*

**Yormarys, Fernandez-Fuentes<sup>1</sup>; José, Guaiquirián<sup>1</sup>; Nacarid, González<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Estación de Investigaciones Marinas de Margarita (EDIMAR), Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Venezuela  
<sup>2</sup> Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar (ECAM), Núcleo Nueva Esparta, Universidad de Oriente, Venezuela  
\*E-mail: yormarysfernandez22@gmail.com

**Introducción**



Las macroalgas son organismos macroscópicos

**Resultados**

Se identificaron un total de 30 especies de macroalgas marinas asociadas al litoral rocoso

147 - Comportamiento de los parámetros de calidad del agua durante la etapa de ceba de *Litopenaeus vannamei* en la camaronicultura cubana

Yanelys Hill Esquivel, Raquel Silveira Coffigny, Manuel Rubio Limonta



Comportamiento de los parámetros de calidad del agua durante la etapa de ceba de *Litopenaeus vannamei* en la camaronicultura cubana

Determination of water quality parameters during the *Litopenaeus vannamei* fattening stage in Cuban shrimp farming

Yanelys Hill Esquivel<sup>1</sup>, Raquel Silveira Coffigny<sup>1</sup> y Manuel Rubio Limonta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras, La Habana, Cuba.  
E-mail: yanelys.hill@gmail.com

**Abstract:** One of the main factors to achieve the success of aquaculture is to maintain adequate management of water quality, which guarantees good production and protection of environmental quality. If it is not of good quality, the crop does not develop properly and health, growth and survival problems are generated. The objective of this work was to evaluate the behavior of the water quality parameters during the fattening stage of the farmed shrimp *Litopenaeus vannamei* during the dry and rainy seasons in this culture cycle in the year 2021. The results pointed out to this

149 - Estado del conocimiento de ciguatera en los poblados costeros de Jaimanitas y Santa Fe, La Habana, Cuba

Annia Martínez Milanés, Dayana Dellundé Granja, María Aurora Pis Ramírez, Carlos Antonio Ocano Busía, Gustavo Arencibia-Carballo



Coloque sus logos institucionales en este espacio



Estado del conocimiento de ciguatera en los poblados costeros de Jaimanitas y Santa Fe, La Habana, Cuba

Annia Martínez Milanés<sup>1</sup>, Dayana Dellundé Granja<sup>1</sup>, María Aurora Pis Ramírez<sup>1</sup>, Carlos Antonio Ocano Busía<sup>1</sup> y Gustavo Arencibia-Carballo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Pesqueras  
[ddellunde22@gmail.com](mailto:ddellunde22@gmail.com)

**RESUMEN**  
En el presente estudio se exponen los resultados de la realización de encuestas sobre la ciguatera

150 - Caracterización de la microbiota de *Cherax quadricarinatus* (langosta de agua dulce) de cultivo en Cuba, durante su almacenamiento en refrigeración  
Whitney Sixela Rodríguez Fuertes, Aniley Fernández Valle, Yeniset Fumero Acosta, Sheila Ponte Betancourt, Raquel Silveira Coffigny



Caracterización de la microbiota de *Cherax quadricarinatus* (langosta de agua dulce) de cultivo en Cuba, durante su almacenamiento en refrigeración.

Whitney Sixela Rodríguez Fuertes, Aniley Fernández Valle, Yeniset Fumero Acosta, Sheila Ponte Betancourt, Raquel Silveira Coffigny.

Centro de Investigaciones Pesqueras. 246 No 503, e/ 5ta Ave y Mar, Rpto. Bariovento, Playa, La Habana. Cuba  
e-mail: whitneysixelarodriguezfuertes@gmail.com

**Abstract :**  
The objective of this work was to characterize the microbiota of *Cherax quadricarinatus*, during its refrigerated storage. The samples were analyzed at time zero and after nine days. Microbial counting, isolation and identification of microorganisms were performed. The

151 - The impact of stress on marine microorganisms  
Kadiata Ba, Ahlam Zarhouti , Bouchra EL Khalfi , Abdelaziz Soukri





The impact of stress on marine microorganisms

**The impact of stress on marine microorganisms**

Kadiata Ba<sup>1</sup>, Ahlam Zarhouti<sup>1</sup>, Bouchra EL Khalfi<sup>1</sup>, Abdelaziz Soukri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physiopathologie, Génétique, Moléculaire et Biotechnologie, Faculté des Sciences Ain Chock, Casablanca, Université Hassan II de Casablanca, Maarif BP 5366,

[158 - A checklist of aquatic nematodes from Cuban Archipelago](#)  
José Andrés Pérez-García, Alexei Ruiz-Abierno, Maickel Armenteros



Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

El (A) vertedimiento de los recursos acuáticos y la acuicultura

### A checklist of aquatic nematodes from Cuban Archipelago

José Andrés Pérez-García<sup>1</sup>, Alexei Ruiz-Abierno<sup>1</sup> & Maickel Armenteros<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana. Playa, CP 11300, Habana, Cuba. JAPG: [jose.andres@cim.uh.cu](mailto:jose.andres@cim.uh.cu)

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-305, Ciudad de México, 04510, México.

#### BACKGROUND

The diversity of free-living aquatic nematodes is largely unknown for the Gulf of Mexico and

[164 - Análisis histórico del estado fisiológico del cangrejo azul en el Lago de Maracaibo](#)  
Madeleimit Zapata Montilla , Randi Guerrero Rios , Nancy Hernández



Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

El (A) vertedimiento de los recursos acuáticos y la acuicultura

### PROPUESTA DE UN ANÁLISIS HISTÓRICO DEL ESTADO FISIOLÓGICO DEL CANGREJO AZUL EN EL LAGO DE MARACAIBO

Zapata Montilla, M.,<sup>1</sup> Guerrero-Rios, R.<sup>2,4</sup> y Hernández, N.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Biología, Laboratorio de Zoología de Invertebrados de la Facultad Experimental de Ciencias de La Universidad del Zulia.

<sup>2</sup> Laboratorio de Zoología de Invertebrados de la Facultad Experimental de Ciencias de La Universidad del Zulia.

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia.

<sup>4</sup> Red Venezolana de Profesionales por la Naturaleza (Akehe)

\*E-mail: [madeleimitz@gmail.com](mailto:madeleimitz@gmail.com)

#### Introducción

En el X FIRMA se presentó la caracterización del sistema

165 - Evaluación del estado de bienestar en la ortiguilla de mar (*Anemonia sulcata*) cultivada y reproducida en cautividad

Cristina Trenzado Romero, Ana Esther Ortiz Maldonado, Alberto Coll Fernández, Eva Rufino Palomares, Inés Navarrete Jiménez, Ismael González Ordóñez, Amalia Pérez Jiménez



170 - Repoblamiento de macroalgas pardas Laminariales para recuperación de ecosistemas deprimidos en el norte de Chile

Marcos Guíñez Araya, Luis Tapia Méndez, Katherine Marchant Álvarez





[180 - Peces y macroinvertebrados acuáticos de un sector de la Sierra de Portuguesa, extremo oriental de los Andes venezolanos](#)

Otto Enrique Castillo



[181 - Abundancia y Riqueza de moluscos en dos praderas de \*Thalassia testudinum\* en el Golfo de Cariaco, Venezuela](#)

Mayre Milagros Jiménez Prieto, Junior Jose De La Rosa, Jesús Bello, Johanna Raquel Fernández Malavé, Sioliz Villafranca, Jorge Barrios Montilla, Belice Gotera



191 - Los grandes bagres comerciales de la familia Pimelodidae de la Orinoquía y su grado de amenaza

Otto Enrique Castillo González, Mailuet Vanessa López Gómez, Albany Nacarid Castillo Valdez

**Los grandes bagres comerciales de la familia Pimelodidae de la Orinoquía y su grado de amenaza**

Castillo González Otto Enrique,<sup>1, 2, 3, 4</sup> López Gómez Mailuet Vanessa,<sup>3, 4</sup> Castillo Valdez Albany Nacarid.<sup>2, 4</sup>

<sup>1</sup>Academia de Ciencias Agrícolas de Venezuela (ACAV), Barinas, Estado Barinas, Venezuela.  
<sup>2</sup>Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Guanare, estado Portuguesa, Venezuela.  
<sup>3</sup>Fundación Ambiental Ecofish, Arauca departamento de Arauca, Colombia.  
<sup>4</sup>Grupo de Creación Intelectual en Recursos Hidrobiológicos Profesor Francisco Mago-Leccia, Guanare, Venezuela.  
 E-mail: lopezmailuet@gmail.com

192 - Composición y estructura de tallas de la ictiofauna capturada en la pesca incidental del camarón en Caladeros de Contoy, México

Marco Antonio Martínez Muñoz, Arturo George Zamora, Juan Francisco Bárcenas Graniel, Jennifer Méndez Torres, Rafael Pech Moo, Ricardo Ramírez Murillo

**COMPOSITION AND SIZE STRUCTURE OF THE ICTHYOFAUNA CAPTURED IN SHRIMP BYCATCH IN CALADEROS DE CONTOY, MEXICO.**

**INTRODUCCIÓN**  
 On the coast of Gulf of Mexico and the Caribbean Sea, the Mexican shrimp fishery is the third most important in terms of catch volume, fish effort, vessels and vessels. However, both the economic value of the production and the infrastructure used in its exploitation and processing make this fishery the most important on that coast. In the marine zone, fishing is directed mainly at one target species, the pink shrimp (*Litopenaeus setiferus*) and the rock shrimp (*Scyllina lewini*).

The population of these species are decreasing as a result of excessive fishing effort in the past, but also because current fisheries management measures, such as closures, have not been the most adequate to favor the growth and reproduction of these species. These species, preventing their recovery. The fishing gear used to capture shrimp are trawl nets that, as in other fishing operations, usually capture other species (bycatch fauna) in addition to the target species. On many occasions these incidental catches are usually large and sometimes they are discarded in their entirety as a part of the operations of commercial importance is conserved, in general, they are organisms with low commercial value.

**GENERAL OBJECTIVE**  
 To determine the composition and spatial distribution of the accompanying fauna in shrimp trawls and their fishery/shrimp relationship during the 2012 closure, in the Contoy, Quintana Roo fishing grounds.

**RESULTS**  
 Two cruises were carried out, in which 16 sets were distributed in each campaign during August and September 2012. 29% were carried out in the depth stratum between 20-40 m and the rest greater than 40 m. 296 specimens of fish corresponding to 38 families, 58 genera and 73 species of fish were analyzed for the August cruise, missing the process of the sample of the second campaign. The composition by family was highlighted by the number of genera that add up to 24.8% of the total, which corresponded to the families: *Leiostomidae* (8.1%), *Cyprinidae* (6.9%), *Scorpaenidae* (5.2%) and *Serranidae* (5.2%). In these are added 7 families with 10% and the rest of families with 8%.

The discarded species that recorded the highest relative abundance were *Yuccania pappus*, *Betta splendens*, *Neomystus heteroclytus*, *Pristigaster rufus*, *Trachinotus carolinus*, *Leiostomus xanthurus* and *Hemirhamphus intermedius*. *Leiostomus xanthurus* species represented 38.8%. The remaining 22 species represented values less than 2.8% and represented 14.6% of the total.

203 - Moluscos epizoicos asociados a *Milnepora alaicornis* Linnaeus, 1753 Cnidaria: Hydrozoa) EN la ensenada de Turpialito estado Sucre, Venezuela

Rafael José Betancourt Tineo, Antulio Prieto



INOPESCA INSTITUTO NACIONAL DE OCEANOGRACIA Y PESQUERÍA

**MOLUSCOS EPIZOICOS ASOCIADOS A *Milnepora alaicornis* Linnaeus, 1753 (CNIDARIA: HYDROZOA) EN LA ENSENADA DE TURPIALITO ESTADO SUCRE/VENEZUELA.**

Rafael José Betancourt \* y Antulio Prieto

Laboratorio de Biología de Poblaciones, Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre.  
rafajose2@gmail.com

**RESUMEN**

Los corales y demás bivalvos son organismos que aportan complejidad y diversidad al ambiente; al proveer condiciones favorables para el desarrollo de diferentes grupos taxonómicos, tanto animales y no animales, como los moluscos. El objetivo de este trabajo fue realizar un inventario de especies de moluscos epizoicos asociados al coral *Milnepora alaicornis* en la ensenada de Turpialito, golfo de Cariaco, desde enero hasta julio de 2023. El muestreo se realizó en un parche a una 1,5 metro de profundidad en cuadratos de 0,25 m<sup>2</sup>. Las muestras se recolectaron manualmente y posteriormente transportadas a frascos de vidrio con formalina al 7%. En el laboratorio se separaron y clasificaron los organismos para su identificación, utilizando las claves taxonómicas. Se contabilizaron 300 ejemplares, contenidos en 3 clases: Bivalvia, Gasterópoda y Polyplacophora, representados en 20 familias y 28 especies. La clase más diversa fue: Bivalvia de las especies, más abundantes fueron *Arca corbis* L. arnsoni y *L. bivalvula*. En cuanto a los gasterópodos, la especie *Lacuna* nunca se observó también como especie epizoítica. Las familias más abundantes y diversas fueron Unionidae, Cerithidae y Turboidea. Los polyplacóforos fueron los menos números y diversos, representados por el género *Scaphitina*. La clase Bivalvia fue la más abundante, debido probablemente a que ese grupo se adhiera a las rocas corales por el filo y también puede porforar los corales de forma mecánica y química.

218 - Estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile. Provincia de Santa Elena: MBON P2P una herramienta innovadora de muestreo

Víctor Andrade-Solorzano, Érika Salavarría, Luis Troccoli



UPSE UNIVERSIDAD PENINSULAR DE SANTA ELENA

**Estructura comunitaria del intermareal rocoso en la playa Punta Chile. Provincia de Santa Elena: MBON P2P una herramienta innovadora de muestreo.**

Andrade-Solorzano Víctor <sup>1</sup>, Salavarría Erika <sup>1, 2</sup> & Troccoli Luis <sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE. Facultad de Ciencias del Mar. Grupo de Investigación Bioeconomía Costera.  
<sup>2</sup>Marine Biodiversity Observation Network MBON.  
<sup>3</sup>Universidad de Oriente. Venezuela  
E-mail: [vras0006@gmail.com](mailto:vras0006@gmail.com)

**Introducción**  
La Red de Observación de la Biodiversidad Marina Polo a Polo (MBON Pole to Pole) se define como una comunidad internacional que trabaja de manera colaborativa para recopilar, preservar y analizar datos de biodiversidad marina de manera continua, con el fin de adquirir conocimiento sobre la situación y las direcciones que toma la vida en los océanos. El protocolo MBON P2P es una herramienta que permite una caracterización de las comunidades de organismos presentes en la zona intermareal, y permite

## Pesca y administración pesquera

### 27 - Extensión pesquera como apoyo a la seguridad en navegación y salvaguardia de la vida en el mar

Hugo Mazon



#### EXTENSIÃO PESQUERA COMO APOYO A LA SEGURIDAD EN NAVEGACIÓN Y SALVAGUARDIA DE LA VIDA EN EL MAR

Mazon, H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri, Brasil.  
E-mail: hugomazon@epagri.sc.gov.br

### 93 - Tallas comerciales por zona de pesca de Huachinango en la región de Bahía de la Paz, Bcs, México

Mauricio Ramírez Rodríguez, Víctor M. Silva Méndez



#### TALLAS COMERCIALES POR ZONA DE PESCA DE HUACHINANGO EN LA REGIÓN DE BAHÍA DE LA PAZ, BCS, MÉXICO

Mauricio Ramírez-Rodríguez, Víctor M. Silva-Méndez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional, México  
E-mail: mramir@ipn.mx

178 - Evaluación de la pesquería de biajaiba, *Lutjanus synagris*, en la plataforma suroriental de Cuba

Romina Alzugaray, Rafael Puga, Servando Valle, Ibis Ramos, Kristin Kleisner, Eduardo Bone, Kendra Karr



**EVALUACIÓN DE LA PESQUERÍA DE  
BIAJAIBA, *Lutjanus synagris*, EN LA  
PLATAFORMA SURORIENTAL DE CUBA**

Alzugaray R.<sup>1</sup>, Puga R.<sup>1</sup>, Valle S.<sup>1</sup>, Ramos I.<sup>1</sup>, Kleisner K.<sup>2</sup>, Bone E.<sup>2</sup>, Karr K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras

<sup>2</sup> Environmental Defense Fund

E-mail: romina.ami@gmail.com

## Cambio climático

### 15 - Parámetros Ambientales de Calidad de Agua en la Bahía de Mochima en el Contexto del Cambio Climático

Osmicar Vallenilla, Carol Larez, Sintra Salazar, Migdalia Arcia, Henry Salazar, Ruben Penott, Xarmen Alfonsi, Wilson Palacios

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left. To its right are logos for IDEA (Instituto de Estudios Avanzados), MINEC (Ministerio del Poder Popular para el Eco Socialismo), and the Universidad de Oriente. Below these logos is the text 'DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE DE 2023'. The main title is 'Parámetros Ambientales de Calidad de Agua en la Bahía de Mochima en el Contexto del Cambio Climático.' The authors listed are Osmicar Vallenilla<sup>1</sup>, Carol Lárez<sup>2</sup>, Sintra Salazar<sup>3</sup>, Migdalia Arcia<sup>4</sup>, Ruben Penott<sup>5</sup>, Henry Salazar<sup>6</sup>, Wilson Palacios<sup>7</sup>, and Carmen Alfonsi<sup>8</sup>. A list of affiliations follows: <sup>1</sup>Instituto Nacional de investigaciones Agrícolas, <sup>2</sup>Instituto de Estudios Avanzados, <sup>3</sup>Instituto Oceanográfico de Venezuela, <sup>4</sup>Gobernación del estado Sucre, <sup>5</sup>Ministerio del Poder Popular Para el Eco Socialismo, <sup>7</sup>Universidad de Oriente, and <sup>8</sup>Oficina Nacional Contra la Crisis Climática Región Nororiental. The contact email is E-mail: Osmicaruptos@gmail.com. A green box at the bottom contains the word 'Introducción'.

### 23 - Evaluación espacio-temporal del sistema carbónico en el Humedal El Hato, Isla de Margarita, edo. Nueva Esparta, Venezuela

Anais Del valle Diaz González, Aristide Márquez

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left. To its right are logos for the Instituto Oceanográfico de Venezuela and the Universidad de Oriente. Below these logos is the text 'DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE DE 2023'. The main title is 'EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA CARBÓNICO EN EL HUMEDAL EL HATO, ISLA DE MARGARITA, EDO. NUEVA ESPARTA, VENEZUELA.' The authors listed are Anais Díaz and Aristide Márquez. The affiliation is 'Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Venezuela'. The contact email is E-mail: anaisd1990@gmail.com. A green box at the bottom contains the word 'Introducción'. To the right of the title is a line graph titled 'Global carbon dioxide emissions from fossil fuels' showing a steady increase from 1990 to 2019. Below the graph is the text 'El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI.'

## 24 - Efecto del estrés térmico crónico sobre la respuesta inmune inducida por la bacteria *Aeromonas hydrophila* en el Esturión Ruso

Valeria Silva Álvarez, Alicia Costáble, Andrés López, Marcio Aversa-Marnai, Alejandro Perretta, Guillermo Moyna, Andrea Villarino, Ana María Ferreira



Por la sostenibilidad de los recursos pesqueros y la acuicultura

### **Efecto del estrés térmico crónico sobre la respuesta inmune inducida por la bacteria *Aeromonas hydrophila* en el Esturión Ruso**

**Valeria Silva Álvarez<sup>1,2</sup>, Alicia Costáble<sup>3</sup>, Andrés López<sup>4</sup>, Marcio Aversa-Marnai<sup>1,2</sup>, Alejandro Perretta<sup>5</sup>, Guillermo Moyna<sup>4</sup>, Andrea Villarino<sup>3</sup>, Ana María Ferreira<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Área Inmunología, Departamento de Biociencias, Facultad de Química, Udelar, Montevideo, Uruguay.  
<sup>2</sup> Unidad de Inmunología, Instituto de Química Biológica, Facultad de Ciencias, Udelar, Montevideo, Uruguay.

<sup>3</sup> Sección Bioquímica y Biología Molecular, Facultad de Ciencias, Udelar, Montevideo, Uruguay

<sup>4</sup> Laboratorio de Espectroscopia y Fisicoquímica Orgánica, Departamento de Química del Litoral, CENLUR Litoral Norte, Udelar, Paysandú, Uruguay.

<sup>5</sup> Unidad de Patología, Biología y Cultivo de Organismos Acuáticos, Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Udelar, Montevideo, Uruguay.

## 29 - Variación del sistema carbónico y grado de saturación de carbonatos en una zona de cultivo de Mitílicos, Venezuela

Aristide Márquez, Jenson Romero, Andreina Lemus, Anais Díaz



Por la sostenibilidad de los recursos acuícolas y la acuicultura

### **Variación del sistema carbónico y grado de saturación de carbonatos en una zona de cultivo de Mitílicos, Venezuela**

**Aristide Márquez, Jenson Romero, Andreina Lemus, Anais Díaz**

Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Venezuela.  
E-mail: arisid@uorora.ve

#### **INTRODUCCIÓN**

El intercambio de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre la atmósfera y los océanos se ha visto muy perturbado por la liberación de carbono antropogénico desde la Revolución Industrial, aumentando en ~45 % desde esta fecha, de 280 ppm a más de 410 ppm en 2022 (Llunda *et al.* 2023). La entrada de nutrientes y la absorción de  $\text{CO}_2$  por la fotosíntesis excede el producido por la mineralización, lo que aumenta el pH, la concentración de iones de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), y los grados de saturación del carbonato (DIC y DARG), y disminuyen el carbono inorgánico disuelto (CT, llamado también DIC o TCO<sub>2</sub>) y presión parcial de  $\text{CO}_2$  (Yang *et al.* 2021; Yang *et al.* 2023). Además, debido a la formación y metabolismo del carbonato de calcio biogénico ( $\text{CaCO}_3$ ), las comunidades calcificadas también tienen efectos importantes en la dinámica del sistema carbonatado en las aguas costeras.

## 145 - Efectos del impacto ambiental por estrés térmico en la medusa *Aurelia aurita*

Amalia Pérez-Jiménez, Paloma Rodríguez-Martín, Danae Molina-García, Javier Medina-Fernández, Javier Pérez-López, Cristina E. Trenzado-Romero, Eva E. Rufino-Palomares



**XII Firma 2023 online**

**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

POR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS Y LA ACUICULTURA

### EFFECTOS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR ESTRÉS TÉRMICO EN LA MEDUSA *Aurelia aurita*

Amalia Pérez-Jiménez<sup>1\*</sup>, Paloma Rodríguez Martín<sup>1</sup>,  
Danae Molina García<sup>2</sup>, Javier Medina-Fernández<sup>3</sup>, Javier Pérez-López<sup>3</sup>,  
Cristina E. Trenzado<sup>4</sup>, Eva Rufino-Palomares<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Zoología. Universidad de Granada. España.  
<sup>2</sup> Departamento de Bioquímica y Biología Molecular I, Universidad de Granada. España.  
<sup>3</sup> BioDomus. Consorcio Parque de las Ciencias de Granada, España.  
<sup>4</sup> Departamento de Biología Celular. Universidad de Granada. España.

\* E-mail: [calaya@ugr.es](mailto:calaya@ugr.es)  <https://orcid.org/0000-0002-9971-8623>

**INTRODUCCIÓN**





# Biología, fisiología y ecología de especies

## 7 - Distintividad taxonómica promedio de moluscos bivalvos marinos: su sensibilidad con el tipo de hábitat

Norberto Capetillo Piñar, Alexander Lopeztegui Castillo, Juan Carlos Hernández Padilla, José Espinosa Sáenz



**Distintividad taxonómica promedio de moluscos bivalvos marinos: su sensibilidad con el tipo de hábitat**

Norberto Capetillo-Piñar<sup>1</sup>, Alexander Lopeztegui-Castillo<sup>2</sup>, Juan Carlos Hernández-Padilla<sup>3</sup>, José Espinosa-Sáenz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Federación de Sociedades Cooperativas Pesqueras Zona Centro, Melchor Ocampo, # 1637, entre Durango y Chiapas, La Paz, Baja California Sur, México.  
<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S., México  
<sup>3</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV-Unidad Mérida, Carretera a Progreso, Mérida, México.  
<sup>4</sup>Instituto de Ciencias del Mar de Cuba, Calle Loma, No. 14, e/ 35 y 37, Alturas del Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.  
E-mail: norbertcap@yahoo.com

**Introducción**  
Clarke y Warwick (1998) crearon el índice de distintividad taxonómica promedio ( $\Delta+$ ) y su índice complementario, variación en la distintividad taxonómica ( $\Delta+$ , Clarke & Warwick, 2001).

## 11 - hsp70 expression in Amur carp blood cells (Cyprinus rubrofasciatus) under anesthesia following painful stimulus

André Luiz Veiga Conrado, Renata Stecca Lunes, Matheus Santos Costa, Rogério Oliveira Faleiros, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva



***hsp70* expression in Amur carp blood cells (*Cyprinus rubrofasciatus*) under anesthesia following painful stimulus**

André Luiz Veiga Conrado<sup>1\*</sup>, Renata Stecca Lunes<sup>1</sup>, Matheus Santos Costa<sup>1</sup>, Rogério Oliveira Faleiros<sup>2</sup>, Isabella Cristina Bordon<sup>1</sup>, José Roberto Machado Cunha da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Histoфизиologia Evolutiva, Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.  
<sup>2</sup>Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito

14 - Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, metabolismo y bienestar del pez *Fundulus heteroclitus*

Miguel Torres Rodríguez, Juan Miguel Mancera Romero, Juan Antonio Martos Sitcha



**XII Firma 2023 online**

## Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, metabolismo y bienestar del pez *Fundulus heteroclitus*

Miguel Torres Rodríguez (1,2\*), Juan Antonio Martos Sitcha (2), Juan Miguel Mancera Romero (2)

(1) Polytechnic University of Valencia (UPV) Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, Spain.  
(2) Faculty of Marine and Environmental Sciences, University of Cadiz (UCA), Puerto Real, Spain.  
\*E-mail: mitorrod@upv.edu.es/miguel.torres@uca.es

01 SALINIDAD

31 - Las microalgas como alternativa al aceite y harina de pescado: Efectos sobre el crecimiento y metabolismo de la dorada (*Sparus aurata*)

Alejandro Blázquez Durán, Sara Flores Moreno, Verónica de las Heras Rodríguez, Marta Román Arias, Francisco Javier Alarcón López, Juan Miguel Mancera Romero, Juan Antonio Martos Sitcha



**XII Firma 2023 online**

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

## LAS MICROALGAS COMO ALTERNATIVA AL ACEITE Y HARINA DE PESCADO: EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y METABOLISMO DE LA DORADA (*Sparus aurata*)

A. Blázquez-Durán<sup>1</sup>, S. Flores<sup>1,2</sup>, V. de las Heras<sup>3</sup>, M. Román<sup>3</sup>, F.J. Alarcón<sup>2</sup>, J.M. Mancera<sup>1</sup> y J.A. Martos-Sitcha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biología. CEI-MAR, Universidad de Cádiz  
<sup>2</sup> Departamento de Biología y Geología. CEI-MAR, Universidad de Almería  
<sup>3</sup> Servicios Centrales de Investigación en Cultivos Marinos. Universidad de Cádiz  
E-mail: [alejandrobblazquezdurán@alum.uca.es](mailto:alejandrobblazquezdurán@alum.uca.es)

INTRODUCCIÓN

[38 - Diagnóstico molecular de diferentes linajes clonales de cáncer transmisible](#)  
Andrea Estrella Arias Díaz, Martín Santamarina, Seila Díaz, Ana Pequeño Valtierra, Jorge Rodríguez Castro, José M C Tubio, Alicia L Bruzos

**XII Firma 2023 online** del 21 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

erc Starting Grant SCUBA CANCERS USC UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA asociación española contra el cáncer

**DIAGNÓSTICO MOLECULAR DE DIFERENTES LINAJES CLONALES DE CÁNCER TRANSMISIBLE**

Andrea Estrella Arias-Díaz<sup>1,3</sup>, Martín Santamarina<sup>1,2,3</sup>, Seila Díaz<sup>1</sup>, Ana Pequeño-Valtierra<sup>1,3</sup>, Jorge Rodríguez-Castro<sup>1,3</sup>, José M C Tubio<sup>1,2,3</sup>, Alicia L Bruzos<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Genomas y Enfermedad. Centro Singular de Investigación en Medicina Molecular y Enfermedades Crónicas (CIMUS). Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.  
<sup>2</sup>Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física. Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.  
<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Sanitarias de Santiago de Compostela (IDIS), Santiago de Compostela, España.

[50 - Esclerocronología del gasterópodo \*Astraea undosa\* \(Wood 1828\), de la pesca en "La Bocana" Baja California Sur, México](#)  
Verónica Mitsui Saito-Quezada, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte, María Georgina Gluyas-Millán

**XII Firma 2023 online** del 21 al 25 noviembre del 21 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

**Esclerocronología del gasterópodo *Astraea undosa* (Wood 1828), de la pesca en "La Bocana" Baja California Sur, México**

Saito-Quezada Verónica Mitsui<sup>1</sup>, Salgado-Ugarte Isaías Hazarmabeth<sup>1</sup>, Gluyas-Millán María Georgina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biología y Biometría Pesquera, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM  
<sup>2</sup>Centro Regional de Investigación Pesquera "La Paz" BCS  
E-mail: [mitsuisaito@gmail.com](mailto:mitsuisaito@gmail.com)

**INTRODUCCIÓN**

*Astraea undosa* (Wood 1828), es uno de los grandes gasterópodos prosobranquios, conocido en México como "caracol panocha". Se distribuye de Ventura, California, (EUA) hasta Baja California Sur (México). Es dioico con fertilización externa; Desova de abril a mayo y con mayor intensidad

82 - Evaluación de piensos funcionales a base de macroalgas, microalgas y probióticos en respuesta a diferentes estresores en juveniles de rodaballo (*Scophthalmus maximus*)

Mercedes Carrillo García, Anyell Caderno, Cristina Rodríguez, Carmen Castro, Francisco Javier Alarcón, Alma Hernández de Rojas, Juan Antonio Martos Sitcha

**XII Firma 2023 online**

IN·MAR CSIC CEI·MAR

**Evaluación de piensos funcionales a base de macroalgas, microalgas y probióticos en respuesta a diferentes estresores en juveniles de rodaballo (*Scophthalmus maximus*)**

Mercedes Carrillo<sup>1</sup>, Anyell Caderno<sup>1</sup>, Cristina Rodríguez<sup>2</sup>, Carmen Castro<sup>3</sup>, Francisco Javier Alarcón<sup>4</sup>, Alma Hernández de Rojas<sup>3</sup>, Juan Antonio Martos-Sitcha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-MAR), Universidad de Cádiz, 11510, Puerto Real, Cádiz, España.

<sup>2</sup> Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC), Planta de Cultivo "El Boca", 39012, Monte-Cantabria, España

<sup>3</sup> Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC), C. O. Gijón, 33212 Gijón, España.

<sup>4</sup> Departamento de Biología y Geología, Universidad de Almería, 04120 Almería, España.

E-mail: mercedes.carrilloga@alum.uca.es

**INTRODUCCIÓN**

87 - Relación holoplancton y meroplancton asociado a las formaciones coralinas de la ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela

Raul Alfredo Torres Figuera, Brightdoom Josefina Marquez Rojas, María Jose Marcano Rodriguez

**XII Firma 2023 online**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

POR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS Y LA AZUICULTORA

**RELACIÓN HOLOPLANCTON - MEROPLANCTON ASOCIADO A LAS FORMACIONES CORALINAS DE LA ENSENADA DE TURPIALITO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA**

Raúl Torres-Figuera<sup>1</sup>, Brightdoom Márquez-Rojas<sup>2</sup> & María Marcano-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Dpto. de Biología, Venezuela. raulalfredotorresfiguera@gmail.com

<sup>2</sup>Laboratorio de Zooplancton, Dpto. de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Venezuela.

**INTRODUCCIÓN**

El zooplancton representa un componente de biomasa y diversidad biológica base en la trofodinámica del ecosistema pelágico, transfiriendo gran parte de la energía fijada por los productores primarios hacia los

92 - Estudio del crecimiento alométrico en juveniles del caballito de hocico largo, *Hippocampus reidi*, y sus implicaciones en el desempeño biológico

Renata Paola Mata Miranda, Renato Peña, Carlos McGregor Bravo, Melissa Barrera Flores, Eliezer Zúñiga Villareal



**ESTUDIO DEL CRECIMIENTO ALOMÉTRICO EN JUVENILES DEL CABALLITO DE HOCICO LARGO, *Hippocampus reidi*, Y SUS IMPLICACIONES EN EL DESEMPEÑO BIOLÓGICO**

Renata Paola Mata-Miranda<sup>1</sup>, Eliezer Zúñiga-Villareal<sup>2</sup>, Renato Peña<sup>1</sup>, Carlos McGregor-Bravo<sup>1</sup>, Melissa Barrera-Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Unidad Piloto de Maricultivo. 26096. La Paz, B.C.S., México.

<sup>2</sup>INGENS Cultivos Marinos. 82110. Mazatlán, Sinaloa, México. <http://ingensonline.com>

E-mail: [renatapmata@gmail.com](mailto:renatapmata@gmail.com)

96 - Gametogenesis and spawning of two marine bivalves on the Atlantic Coast of Morocco

Ibtissam Doukilo, Oum Keltoum Belhsen, Mohamed Id Halla, Ahmed Errhif



**Gametogenesis and spawning of two marine bivalves on the Atlantic Coast of Morocco**

Ibtissam DOUKILO<sup>1</sup>, Oum Keltoum BELHSEN<sup>2</sup>, Mohamed ID HALLA<sup>2</sup>, Ahmed ERRHIF<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Santé Et Environnement, Faculté des Sciences Ain Chock, Hassan II University of Casablanca, B.P 5366 Maarif, Casablanca, Morocco.

<sup>2</sup> Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca, Morocco.

E-mail: [dou.ibtissam@gmail.com](mailto:dou.ibtissam@gmail.com)

[104 - Impacto del estrés térmico materno y el tiempo de exposición sobre el desempeño del sistema antioxidante y la fisiología energética de juveniles de \*Octopus maya\* sujetos a fluctuaciones térmicas](#)

Norma Alejandra Plata Díaz, Carlos Rosas Vázquez, Maité Mascaró Miquelajauregui, Gabriela Rodríguez Fuentes



**XII Firma**  
2023 online



Del 29 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

**Impacto del estrés térmico materno y el tiempo de exposición sobre el desempeño del sistema antioxidante y la fisiología energética de juveniles de *Octopus maya* sujetos a fluctuaciones térmicas**

Alejandra Plata-Díaz<sup>1</sup>, Carlos Rosas Vázquez<sup>2</sup>, Maite Mascaró<sup>3</sup>, Gabriela Rodríguez-Fuentes<sup>4</sup>



<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
<sup>4</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
E-mail: ate.plata.diaz92@gmail.com

**INTRODUCCIÓN**

Estudios previos han demostrado que el estrés térmico materno en *Octopus maya* altera la fisiología energética y el sistema de defensa antioxidante de su progenie cuando estos son mantenidos a una temperatura constante por encima de su rango óptimo de desarrollo. En

[117 - Comportamiento de reotaxis del langostino \*Macrobrachium tenellum\* \(Smith, 1871\) en laboratorio](#)

Omar Alejandro Peña Almaraz, Manuel Alejandro Vargas Ceballos, Fernando Vega Villasante, Olimpia Chong Carrillo



**XII Firma**  
2023 online



Del 29 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

**Comportamiento de reotaxis del langostino *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) en laboratorio**



Omar Alejandro Peña-Almaraz<sup>1</sup>, Manuel Alejandro Vargas-Ceballos<sup>2</sup>,  
Fernando Vega-Villasante<sup>2</sup>, Olimpia Chong-Carrillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doctorado BEMARENA, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Puerto Vallarta, Jalisco, México.  
<sup>2</sup>Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Universidad de Guadalajara, Av. Universidad 203, Delegación Ixtapa. CP. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México.  
<sup>3</sup>Estancias Posdoctorales Iniciales, Estancias Posdoctorales por México 2022, CONAHCYT.  
E-mail: omar.pena@alumnos.udg.mx.

[136 - Las raíces del mangle rojo \*Rhizophora mangle\*: Un hábitat para la micromalacofauna](#)

Sioliz Villafranca, Mayré Jiménez, Johanna Fernández



**LAS RAÍCES DEL MANGLE ROJO *Rhizophora mangle*: UN HÁBITAT PARA LA MICROMALACOFAUNA**

**Villafranca, S<sup>1</sup>, Jiménez, M<sup>1</sup> & Fernández, J<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Instituto Oceanográfico de Venezuela - Universidad de Oriente, Venezuela.

<sup>2</sup>Museo del Mar - Universidad de Oriente, Venezuela.

svillafranca@yahoo.com

**INTRODUCCIÓN**

A pesar de que las raíces de *R. mangle* son el hábitat de una variedad de invertebrados (Samidurai *et al.* 2012; Hajjalizadeh *et al.* 2020), en el caso de la microfauna es escasa la literatura donde se reporta a estas comunidades. Es por ello que este trabajo tiene el objetivo de aportar información ecológica de estos grupos en uno de los principales parques nacionales del oriente de Venezuela como es el Parque Nacional Mochima (PNM).

**MATERIALES Y MÉTODOS**

[138 - Optimizing Aquaculture Sustainability: Exploring Natural Approaches, Traditional Techniques, and Biomolecules for Fertility and Reproductive Management](#)

Zarhouti Ahlam, Ba Kadiata, Elkhalfi Bouchra, Soukri Abdelaziz



**Optimizing Aquaculture Sustainability: Exploring Natural Approaches, Traditional Techniques, and Biomolecules for Fertility and Reproductive Management**

Zarhouti. Ahlam<sup>1</sup>, Ba Kadiata<sup>1</sup>, El khalfi. Bouchra<sup>1</sup>, and Soukri. Abdelaziz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Health and Biotechnology Research Center, Hassan II University of Casablanca, Maarif B.P 5365, Casablanca, Morocco.

[140 - Edad y crecimiento del tiburón sedoso \*Carcharhinus falciformis\* \(Muller & Henle, 1839\) en el Pacífico ecuatoriano: un enfoque bayesiano vs frecuentista](#)  
 Christopher Javier Mera Soza, Michael Andrés Vélez Soledispa, Diego Antonio Mejía Vera, Jesús Humberto Briones Mendoza

The cover features logos for 'XII Firma 2023 online', 'Uleam', and 'Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología'. The title is prominently displayed in bold black text. Below the title, the authors' names are listed: Christopher Mera-Soza, Michael Velez-Soledispa, Diego Mejía, and Jesús Briones-Mendoza. A footnote identifies the affiliation as Universidad Laica 'Eloy Alfaro' de Manabí. The introduction section is visible, starting with 'Actualmente se encuentra en estado vulnerable (VU) según la IUCN (Rigby et al., 2017).'

[142 - Edad y crecimiento del tiburón mako, \*Isurus oxyrinchus\* \(Rafinesque, 1810\), en el Pacífico Ecuatoriano, enfoque multimodelo.](#)  
 John Smith Vera Mera, Anthony Steven Tamayo Vega

The cover includes logos for 'XII Firma 2023 online', 'Uleam', and 'Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología'. The title is centered in bold black text. The authors listed are John Vera-Mera, Anthony Tamayo-Vega, and Jesús Briones-Mendoza. A footnote provides the affiliation: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Ciudadela Universitaria via San Mateo, Manabí-Ecuador. The introduction section is partially visible, starting with 'Isurus oxyrinchus es una especie cuya característica fisiológica endotérmica le permite aclimatarse eficazmente en distintas zonas marinas (Berkovitz & Shellis, 2017).'



[156 - Edad y crecimiento del tiburón azul \*Prionace glauca\* \(LINNAEUS, 1758\) en el Pacífico Ecuatoriano: Multimodelos bayesianos](#)

Nicole Isabel Suárez Aguilar, María Fernanda Zambrano Cedeño, Jesús Humberto Briones Mendoza



[176 - Nanoencapsulados enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados para el acondicionamiento reproductivo de \*Mesodesma donacium\*](#)

Sheyla Zevallos F., Jurij Wacyk, Carolina Valenzuela, Eduardo Uribe



184 - Biomarcadores del ciclo gametogénico de la ostra *Pinctada imbricata* (Bivalvia: pteridae)

Yelipza Del Carmen Longart Rojas, Dwight Arrieche, Antonio Gómez, Stefania Escalona, Edgar Zapata-Vivenes

**XII Firma 2023 online**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

FORO LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS ACUICOLAS Y LA ACUICULTURA

## BIOMARCADORES DEL CICLO GAMETOGENICO DE LA OSTRA *Pinctada imbricata* (BIVALVIA: PTERIDAE)

Yelipza Longart-Rojas<sup>1</sup>, Dwight Arrieche<sup>2</sup>, Antonio Gómez<sup>2</sup>, Stefania Escalona<sup>2</sup>, Edgar Zapata-Vivenes<sup>3</sup>

1 Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.  
2 IIBCAUDO Dra. Susan Tai, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.  
3 Escuela de Acuicultura y Pesca, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.  
\*Autor de correspondencia: [yelozalongart@gmail.com](mailto:yelozalongart@gmail.com)

### INTRODUCCIÓN

*Pinctada imbricata* (Röding, 1798), conocida como ostra perla, es un recurso pesquero de la región nor oriental de Venezuela. con gran importancia económica

195 - *Azadirachta indica* como agente letal de *Unomia stolonifera*

Carol Yovana Lárez López, Sinatra Katerine Salazar, Carmen Alfonsi Rojas, Osmicar Manuel Vallenilla, Rubén Darío Penott Maita, Migdalia Arcia, Andrés Montes

**XII Firma 2023 online**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

## *Azadirachta indica* como agente letal de *Unomia stolonifera*

Lárez C.<sup>1</sup>, Salazar S.<sup>2</sup>, Alfonsi C.<sup>2</sup>, Vallenilla O.<sup>3</sup>, Penott R.<sup>1</sup>, Arcia M.<sup>4</sup> y Montes A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Fundación Instituto de Estudios Avanzados IDEA  
<sup>2</sup>Instituto Oceanográfico de Venezuela  
<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas INIA  
<sup>4</sup>Gobernación del estado Sucre  
<sup>5</sup>Instituto Socialista para la Pesca y Acuicultura  
E-mail: [carolyovana@gmail.com](mailto:carolyovana@gmail.com)

### INTRODUCCIÓN

## Cultivo de peces

### 8 - Efecto del nivel de oxígeno en el crecimiento y bienestar del lenguado en cultivo

María Vázquez Ruiz de Ocenda, Belén Budiño Rodríguez, Rubén Caamaño Martínez, Santiago Cabaleiro Martínez

The poster features a header with logos for 'XII Firma 2023 online', the European Union (Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU), and the Spanish government (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia). A date range 'Del 27 de noviembre al 31 de diciembre de 2022' is displayed. The main title is 'Efecto del nivel de oxígeno en el crecimiento y bienestar del lenguado en cultivo' with the project name 'Proyecto PISCIBIEN' and a fish logo. The authors listed are María Vázquez, Belén Budiño, Rubén Caamaño, and Santiago Cabaleiro. Contact information for the Centro Tecnológico del Cluster de la Acuicultura (CETGA) is provided, including the address in Ribeira, A Coruña, Spain, and the email \*ruizocenda@cetga.org. The word 'Introducción' is visible at the bottom.

### 17 - El quinoma de dos especies de monogéneos conteniendo potenciales blancos para fármacos existentes

Víctor Hugo Caña Bozada, Cesaré Ovando Vásquez, Lizeth Carolina Flores Méndez, Juan Manuel Martínez Brown, Francisco Neptalí Morales Serna

The poster features a header with logos for 'XII Firma 2023 online' and several research institutions: CIAD (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo), UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), IPICYT (Instituto Politécnico de Ciencia y Tecnología), CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías), and UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). A date range 'Del 27 de noviembre al 31 de diciembre de 2022' is displayed. The main title is 'El quinoma de dos especies de monogéneos conteniendo potenciales blancos para fármacos existentes'. The authors listed are Víctor Hugo Caña-Bozada<sup>1</sup>, Cesaré Ovando-Vásquez<sup>2</sup>, Lizeth Carolina Flores-Méndez<sup>1</sup>, Juan M. Martínez-Brown<sup>1,3</sup>, and F. Neptalí Morales-Serna<sup>4</sup>. Footnotes provide details for each institution: <sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental, Mazatlán, Sinaloa 82112, México; <sup>2</sup>CONAHCYT-Centro Nacional de Supercomputo, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, San Luis Potosí 78216, México; <sup>3</sup>Consejo Nacional de humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), Ciudad de México, México; <sup>4</sup>Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán 82040, Sinaloa, México.

21 - Análisis de los sistemas de alimentación alternativa de *Oreochromis niloticus* para México

Erick Emanuel García Vences, Laura Georgina Núñez García, Jhoana Díaz Larrea, Ruben Cabrera García, Gabriela Vázquez Silva, Nicel Rusindo Hernández

49 - En la búsqueda de sistemas de producción que involucren el bienestar animal en peces

Sandra Clemencia Pardo Carrasco, Hernán Antonio Alzate Díaz

54 - Desempeño productivo durante el alevinaje de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en dos sistemas de producción piscícola

Hernán Antonio Alzate Díaz, Sandra Clemencia Pardo Carrasco



81 - Identificación molecular de Micobacterias no tuberculosas en Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en la Amazonía Ecuatoriana.

Yeimy Rojas, Johanna Guarango Veletanga, Andrea Castro Cevallos, Yanua Ledesma, Jacobus de Waard



86 - Efecto del probiótico *Vibrio lentus* en el sistema inmune y metabolismo de la lubina (*Dicentrarchus labrax*)

Rocío Valderrama Cortés, Miguel Torres Rodríguez, Iria Folgueira López, José Francisco Cabello Gómez, Raquel Liébana García, Elisabete Bilbao Duque, Juan Antonio Martos Sitcha

**XII Firma 2023 online**

Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

EFECTOS DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y PRODUCTIVOS

**ctaqua** CENTRO TECNOLÓGICO DE LA ACUICULTURA DE ANDALUCÍA

**Efecto del probiótico *Vibrio lentus* en el sistema inmune y metabolismo de la lubina (*Dicentrarchus labrax*)**

Rocío Valderrama Cortés<sup>1</sup>, Miguel Torres Rodríguez<sup>1</sup>, Iria Folgueira López<sup>2</sup>, Jose F. Cabello Gómez<sup>2</sup>, Raquel Liébana García<sup>3</sup>, Elisabete Bilbao Duque<sup>3</sup>, Juan Antonio Martos Sitcha<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Biología, INMAR, CEIMAR, Universidad de Cádiz  
<sup>2</sup> CTAQUA (Centro Tecnológico de la Acuicultura de Andalucía)  
<sup>3</sup> AZTI, Marine Research Division, Basque Research Technology Alliance (BRTA), Sukarrieta, Spain

\*E-mail: rociovalderramacortes@gmail.com

**INTRODUCCIÓN**

100 - Perfil microbiano de la mucosa intestinal de cobia (*Rachycentron canadum*) determinado por secuenciación de la región ITS2 y del gen rARN 16S

Samira Reinoso, María Soledad Gutiérrez, Guillermo Reyes, Wilfrido Argüello-Guevara, Milton Bohórquez-Cruz, Stanislaus Sonnenholzner, Paola Navarrete

**XII Firma 2023 online**

Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

EFECTOS DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y PRODUCTIVOS

**Perfil microbiano de la mucosa intestinal de cobia (*Rachycentron canadum*) determinado por secuenciación de la región ITS2 y del gen rARN 16S**

Samira Reinoso<sup>1,2</sup>, María Soledad Gutiérrez<sup>1</sup>, Guillermo Reyes<sup>2</sup>, Wilfrido Argüello-Guevara<sup>2,3</sup>, Milton Bohórquez-Cruz<sup>2</sup>, Stanislaus Sonnenholzner<sup>2,3</sup>, Paola Navarrete<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Microbiología y Probióticos, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile, Santiago 7830480, Chile.  
<sup>2</sup>Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Guayaquil 090211, Ecuador.  
<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, FIMCM, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Guayaquil 090211, Ecuador

E-mail: esreinoso@espol.edu.ec

## [108 - Comportamiento en tilapia con ácidos orgánicos](#)

Mario Abraham Hernández Sagastume



### COMPORTAMIENTO EN TILAPIA CON ÁCIDOS ORGÁNICOS

Hernandez-Sagastume, Mario Abraham

<sup>1</sup>Universidad de San Carlos de Guatemala  
E-mail: mariohacuacultor@hotmail.com

#### INTRODUCCION

Debido a las condiciones de cultivo, como son altas densidades de siembra y limitada calidad del agua, los organismos se encuentran sujetos a un estrés constante que se traduce en bajas tasas de crecimiento y eficiencia alimenticia, así como presencia de patologías oportunistas. Para evitar estos problemas los estudios se han dividido en identificar causas y efectos

## [119 - La torta de la castaña amazónica y su uso en la preparación de dietas balanceadas para \*Piaractus brachipomus\*](#)

Anai Flores, Rodolfo Pereyra, Marian Paredes, Rommel Reynel, Ligia Uribe, Marcos Tavares, Christian Fernández-Méndez



### LA TORTA DE LA CASTAÑA AMAZONICA Y SU USO EN LA PREPARACIÓN DE DIETAS BALANCEADAS PARA *Paco Piaractus brachipomus*

Anai Flores<sup>1\*</sup>, Rodolfo Pereyra<sup>1</sup>, Marian Paredes<sup>1</sup>,  
Rommel Reynel<sup>1</sup>, Ligia Uribe<sup>2</sup>, Marcos Tavares<sup>3</sup>,  
Christian Fernandez-Méndez<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Puerto Maldonado, Perú

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus, Brasil

<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Amapá, Brasil

<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú

132 - Estudio comparativo de la eficiencia de la alimentación de tilapia (*Oreochromis Niloticus*) con Biofloc generado a partir de humus de lombriz (humosol)

Martin Añez

**RESUMEN**  
 HUMOSOL, mejorador de suelos orgánico en cargo bacteriano de celobifloros, monofloros, amebifloros, rotíferos, lecitofloros, sefitas reductoras y ultracelulósicos, las que pueden promover el Biofloc. Experimento realizado en la zona Alajuela: en estanques plásticos instalados de dos mil litros a media densidad, con densidad de 50 organismos por m<sup>3</sup>, utilizando dos grupos por grupo con tratamientos diferentes. Los primeros fueron tratados con alimento concentrado, mas Biofloc, el segundo solo con Biofloc y los del grupo tres con alimentación convencional. Se realizaron mediciones semanales de peso de las peces y parámetros fisico-químicos del agua en los estanques. El tratamiento más eficiente en el de alimento a Biofloc, con un 16% por encima de la alimentación convencional. Estos resultados se hacen en el campo acuático de peces en primer grupo en todo el experimento, se concluye que la biotecnología es una alternativa que aumenta el

**INTRODUCCIÓN**  
 La experiencia busca ofrecer una solución a la acuicultura en cuanto a: problemas ambientales asociados a la descarga de los productos de desechos en los cuerpos de agua, dependencia con la harina y aceite de pescado y reducir el costo de alimento para peces, disminuyendo las tasas de producción. Se realizó en el año 2014, entre los meses de junio a noviembre, en época época de lluvias, con temperaturas ambientales que variaron entre los 19° y los 25° C, en una finca ubicada en el sector El Socorro, Alajuela, Costa Rica. La Sabana del municipio Alajuela, estado Cartago de Venezuela, con la finalidad de comprobar la efectividad del sistema de alimentación Biofloc en la acuicultura, usando como fuente de alimento HUMOSOL como fuente de nitrógeno, carbono, y sobre todo de la carga bacteriana necesaria para los procesos biológicos beneficiosos del sistema. Esta actividad pretende realizar un aporte desde el punto de vista tecnológico proporcionando un sistema alternativo de producción de

**METODOLOGÍA**  
 4 Tanques circulares de 2.000 lts, 100 plantas de tilapia blanca (20 por tanque), 40 de *Hydrilla* de 10 y 100gms (10L, 10L, 10L) para acuarios marca SIBA, Solchúcaro de 4° x 10°. Alimento de 1 mt de diámetro, 450 kg Harina de Harina HUMOSOL, 8 lts de alimento concentrado para peces (25 kg) marca Invermar, 6 de 24 % de proteína, balanceo nutrientes del campo, Dosis plásticas de 200 de 5 kg, espesadores, 6 bolsas de 400 marca BAYBOL, 12 bolsas de 400 de mangonera plástica transparente para abstracción, 12 pedras alfileres, de 5° x 8 lts plásticas de 20 lts, termómetro de campo.  
 Fueron suministrados 200 peces de la especie *Oreochromis niloticus*, por su disponibilidad en la zona donde eran utilizados en forma extensiva y sin ningún control previo, solo con fines de abastecimiento personal.  
 Tomando en cuenta el espacio y los recursos disponibles, se utilizaron seis tanques plásticos (sobre marca Bona) lts de la finca, con un volumen de 200 mil litros, 1,5 mt de diámetro. Gracias a su amplia capacidad debido a condiciones climáticas en Alajuela constante en el momento de realizar la experimentación y para evitar el salto de los peces al exterior del tanque.  
 Se hicieron en los grupos de tanques los que están cada 10 para manejar la fiabilidad de los datos a obtener en el sistema de alimentación para cada grupo.

135 - Rendimiento productivo de *Oreochromis* spp. bajo dos tasas de alimentación en un sistema de recirculación acuícola en la Estación Experimental Diamantes, Guápiles, Costa Rica.

Carlos Alvarado, Anibal Lira, Oscar Isaac Cruz-Mena

**Rendimiento productivo de *Oreochromis* spp. bajo dos tasas de alimentación en un sistema de recirculación acuícola en la Estación Experimental Diamantes, Guápiles, Costa Rica.**

Carlos Alvarado Ruiz<sup>1</sup>, Anibal Lira Arauz<sup>2</sup>, Óscar Isaac Cruz-Mena<sup>2</sup>

1Dirección de Fomento Pesquero y Acuicola, INCOPESCA.  
 2Estación Experimental Acuicola Los Diamantes, INCOPESCA.  
 E-mail: ocruz@incopesca.go.cr



[144 - Determinación de patrones de crecimiento alométrico durante el desarrollo temprano del huayaibe, \(\(\*Seriola rivoliana\*\) en condiciones de laboratorio](#)  
Arnold David Terreros Ríos, Angie Cristina Guanopatin Tutasig, Melania Denisse Vargas Yaqual, Wilfrido Ernesto Argüello Guevara

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and the 'espol Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar' logo on the right. A yellow banner at the top contains the text 'Del 21 de noviembre al 01 de diciembre de 2023'. The title is centered in purple and black text. Below the title, the authors' names are listed. At the bottom, the affiliation 'Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. E-mail: ardaterr@espol.edu.ec' is provided.

**INTRODUCCIÓN**

[153 - Evaluación de la harina de sachá icnhi \(\*Plukenetia volubilis\*\) en la alimentación de alevines de tilapia](#)  
Jenniffer Katherine Farías Vera ,Fernando Ramón Isea León ,Rodolfo Patricio Panta Vélez

The cover includes the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and logos for 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ POSGRADO', 'FACM', and 'INIA' on the right. A yellow banner at the top contains the text 'Del 21 de noviembre al 01 de diciembre de 2023'. The title is centered in black text. Below the title, the authors' names are listed. At the bottom, the affiliation 'Grupo de Investigación de Nutrición y Alimentación Acuicola (GINAA), Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables (DAPRR), Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar (FACM), Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. E-mail: jkfarías1762@utmanabí.edu.ec' is provided.

**INTRODUCCIÓN**

El desarrollo y rentabilidad de los cultivos acuícolas están condicionados por el componente nutricional inherente para el óptimo desarrollo de los organismos. Por décadas la harina de pescado ha primado en la industria como fuente proteica y energética, aunque actualmente es un recurso limitado e insostenible. Cuestiones como estas, han conducido estudios de diferentes inóculos, entre ellas, alternativas de alimentación que puedan mejorar la sostenibilidad del sector

[163 - Inclusión en formulaciones dietarias para tilapia del Nilo de harinas vegetales ricas en ácido  \$\alpha\$ -linolénico y su efecto en el filete](#)

Paula Waldmann, María Prario, Nora Haran, Nair Pereira

**XII Firma 2023 online**

**LACUI**  
Grupo Laboratorio Acuicultura  
UNM Regional Mar del Plata

**CONICET**  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y de la Innovación

**INTI**  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Del 27 de noviembre al 31 de diciembre de 2022

**Inclusión en formulaciones dietarias para tilapia del Nilo de harinas vegetales ricas en ácido  $\alpha$ -linolénico y su efecto en el filete**

Waldmann Paula<sup>1</sup>, Prario María<sup>1</sup>, Haran Nora<sup>2</sup>, Pereira Nair<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mar del Plata- Laboratorio de Acuicultura LACUI  
<sup>2</sup> Universidad Nacional de Mar del Plata- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras  
<sup>3</sup> CONICET  
E-mail: nairpereira@mdp.edu.ar

**INTRODUCCIÓN**

[169 - Obtención y caracterización de hidrolizado proteico de anchoíta \*Engraulis anchoita\* y su uso en acuicultura](#)

Nair Pereira, Delfina Garbari, Nora Haran

**XII Firma 2023 online**

**CONICET**  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y de la Innovación

**LACUI**  
Grupo Laboratorio Acuicultura  
UNM Regional Mar del Plata

**INTI**  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Del 27 de noviembre al 31 de diciembre de 2022

**Obtención y caracterización de hidrolizado proteico de anchoíta *Engraulis anchoita* y su uso en acuicultura**

Pereira Nair<sup>1,2</sup> Garbari Delfina<sup>3</sup>, Haran Nora<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET), Argentina  
<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mar del Plata- Laboratorio de Acuicultura LACUI Argentina  
<sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Mar del Plata, Argentina  
E-mail: noraharan@yahoo.com.ar

**INTRODUCCIÓN**

## 179 - Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organisms

Soukayna Jarjini, Mourabiti Fatima, Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi



### ANTIBIOTIC RESISTANCE IN AQUACULTURE AND AQUATIC ORGANISMS

Soukayna Jarjini<sup>1</sup>, Fatima Mourabiti<sup>1</sup>, Abdelaziz Soukri<sup>1</sup>, Bouchra El khalfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Research Center of Health & Biotechnology, Hassan II University of Casablanca, 20100 Casablanca, (Morocco).  
E-mail: jarjinisoukaina@gmail.com

## 187 - Diagnóstico del virus de la tilapia lacustre (TILV) en la provincia de Sucumbios, Ecuador

Carlos Alberto Erazo Reinoso

### Emergencia sanitaria por el Virus de la Tilapia Lacustre (TILV) en la provincia de Sucumbios, Ecuador: Evaluación, Impacto y Medidas de Control

**Autor:** Ing. Carlos Alberto Erazo Reinoso MSc. **Gobierno Provincial de Sucumbios, CORPOSUCUMBIOS, Nueva Loja, Lago Agrio, República del Ecuador.** E-mail: cerazo@sucumbios.gob.ec. Teléfono: +593-99-1785261.

#### Resumen:

El **Virus de la Tilapia Lacustre (TILV)** se identificó por primera vez en Ecuador en 2014, posiblemente extendiéndose hacia la Amazonía Norte Ecuatoriana desde 2017. Su impacto ha generado altas tasas de mortalidad en poblaciones piscícolas en diversas localidades de la provincia de Sucumbios. Se ha observado una mayor patogenicidad del virus en condiciones ambientales extremas, particularmente en cambios bruscos de temperatura, desencadenando brotes esporádicos con altos índices de mortalidad tras infecciones severas.

La entidad gubernamental CORPOSUCUMBIOS ha realizado diagnósticos continuos desde 2019, revelando resultados preocupantes por el riesgo de pérdidas económicas y la propagación del virus entre localidades, ante la ausencia de medidas efectivas de control.



Varias instituciones estatales y académicas, incluyendo la ESPE, CENAIM y la Secretaría de

[193 - Evaluación de baños hipersalinos para el control del monogéneo \*Neobenedenia\* sp. parásito del pez fuerte \*Seriola rivoliana\*](#)

Roxana Bertha Inohuye Rivera, Juan Carlos Pérez Urbiola



**EVALUACIÓN DE BAÑOS HIPERSALINOS PARA EL CONTROL DEL MONOGENEO *Neobenedenia* sp. PARÁSITO DEL PEZ FUERTE *Seriola rivoliana***

Inohuye-Rivera, R.B. Pérez-Urbiola, J.C.

Programa de Acuicultura del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR) La Paz, BCS, México  
E-mail: rinohuye@cibnor.mx

**INTRODUCCIÓN**

Los monogéneos son parásitos habituales de la piel y branquias de los peces. Su ciclo de vida es directo, solo requieren un hospedero y presentan las fases de adulto, huevo y larva.

*Neobenedenia* spp. afecta la acuicultura mundial en peces de interés como

[210 - Emergencia sanitaria por el Virus de la Tilapia Lacustre \(TILV\) en la provincia de Sucumbíos, Ecuador: Evaluación, Impacto y Medidas de Control](#)

Carlos Alberto Erazo Reinoso

**Emergencia sanitaria por el Virus de la Tilapia Lacustre (TILV) en la provincia de Sucumbíos, Ecuador: Evaluación, Impacto y Medidas de Control**

Autor: Ing. Carlos Alberto Erazo Reinoso MSc. **Gobierno Provincial de Sucumbíos. CORPOSUCUMBÍOS. Nueva Loja, Lago Agrio, República del Ecuador.** E-mail: cerazo@sucumbios.gob.ec. Teléfono: +593-99-1785261.

**Resumen:**

El **Virus de la Tilapia Lacustre (TILV)** se identificó por primera vez en Ecuador en 2014, posiblemente extendiéndose hacia la Amazonía Norte Ecuatoriana desde 2017. Su impacto ha generado altas tasas de mortalidad en poblaciones piscícolas en diversas localidades de la provincia de Sucumbíos. Se ha observado una mayor patogenicidad del virus en condiciones ambientales extremas, particularmente en cambios bruscos de temperatura, desencadenando brotes esporádicos con altos índices de mortalidad tras infecciones severas.

La entidad gubernamental CORPOSUCUMBÍOS ha realizado diagnósticos continuos desde 2019, revelando resultados preocupantes por el riesgo de pérdidas económicas y la propagación del virus entre localidades, ante la ausencia de medidas efectivas de control.



Varias instituciones estatales y académicas, incluyendo la ESPE, CENAIM y la Secretaría de



## Cultivo de crustáceos

### 20 - Determinación de parámetros zootécnicos iniciales asociados al crecimiento en la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*, sometidas a una dieta con diferentes niveles de inclusión proteica

Paul Nicolas Sarmiento Cardenas, Laura Susana López Greco, Liane Stumpf

**2023 online**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

JBA CONICEP  
IBBEA

**Determinación de parámetros zootécnicos iniciales asociados al crecimiento en la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*, sometidas a una dieta con diferentes niveles de inclusión proteica.**

Sarmiento C. Paul; López Greco, Laura; Stumpf Liane.

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biología y Biodiversidad Experimental (DBBE), Instituto de Biología y Biodiversidad Experimental y Aplicada (IBBEA), UBA-COINCEP, Laboratorio de la Biología de la Reproducción, Nutrición y Crecimiento en Crustáceos Decápodos, Buenos Aires, Argentina  
E-mail: nicksarcar@gmail.com

**INTRODUCCIÓN**

### 22 - Análisis bibliométrico de *Neocaridina davidi* mediante Scopus.

Alfredo Aguilar Martínez, Luis Manuel Guevara-Chumacero, Jhoana Díaz-Larrea, Laura G. Núñez-García, Rubén Cabrera García

**XII Firma 2023 online**

Coloque sus logos institucionales en este espacio

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

**ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE *NEOCARIDINA DAVIDI* MEDIANTE *SCOPUS***

Alfredo Aguilar-Martínez<sup>1</sup>, Luis M. Guevara-Chumacero<sup>2</sup>, Jhoana Díaz-Larrea<sup>3</sup>, Laura G. Núñez-García<sup>3</sup>, Rubén Cabrera García<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Avenida San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Del. Iztapalapa C.P. 09340, México, Distrito Federal, México. <sup>2</sup>Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Avenida San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Del. Iztapalapa C.P. 09340, México, Distrito Federal, México. <sup>3</sup>Departamento de Hidrobiología,

## 26 - Impacto de la relación proteína-lípidos en la dieta sobre la respuesta a enzimas exógenas como aditivos nutricionales en la producción de *Cherax quadricarinatus*

Emily Sol García Martínez, Valentín Villamonte, Pau Germino Swinyard, Gonzalo Coccolo, Liane Stumpf, Analía Verónica Fernández Giménez, Laura Susana López Greco



**Impacto de la relación proteína-lípidos en la dieta sobre la respuesta a enzimas exógenas como aditivos nutricionales en la producción de *Cherax quadricarinatus*.**

Emily Sol García Martínez<sup>1</sup>; Valentín Villamonte<sup>1</sup>; Pau Germino Swinyard<sup>1</sup>; Gonzalo Coccolo<sup>1</sup>; Liane Stumpf<sup>1</sup>; Analía Verónica Fernández Giménez<sup>2</sup>; Laura S. López Greco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Biología de la Reproducción, Crecimiento y Nutrición de Crustáceos Decápodos, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental e Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (UBA-CONICET).

<sup>2</sup>Universidad de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Fisiología de Organismos Acuáticos, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (UNMdP-CONICET).

emisol.garcia@gmail.com

### Introducción

Existe la necesidad de \_\_\_\_\_

## 30 - Actividad de enzimas digestivas y movilización de reservas energéticas asociado al crecimiento diferencial

Hernán Sacristán, Micaela Fernández-Pinheiro, Laura López-Greco



**ACTIVIDAD DE ENZIMAS DIGESTIVAS y MOVILIZACIÓN DE RESERVAS ENERGÉTICAS ASOCIADO AL CRECIMIENTO DIFERENCIAL**

Sacristán H, Fernández-Pinheiro M, López-Greco L

Universidad de Buenos Aires, CONICET, Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA, CONICET-UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Laboratorio de Biología de la Reproducción, Crecimiento y Nutrición de Crustáceos Decápodos, Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina  
E-mail: sacristanh@gmail.com

## 40 - Propuesta para el estudio de acoplamiento molecular de las toxinas pir a y pir b (ahpnd) de *Vibrio parahaemolyticus* con algunos posibles ligandos inhibidores

Edison Pascal, Edgar Portillo, Anibal Méndez, Helimar Vásquez



### PROPUESTA PARA EL ESTUDIO DE ACOPLAMIENTO MOLECULAR DE LAS TOXINAS Pir A Y Pir B (AHPND) DE *Vibrio parahaemolyticus* CON ALGUNOS POSIBLES LIGANDOS INHIBIDORES

Edison Pascal,<sup>1,2,3</sup> Edgar Portillo<sup>1</sup>, Anibal Méndez<sup>1</sup>, Helimar Vásquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Química Biofísica Experimental y Teórica, Área de Patología y Parasitología de Crustáceos, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia (LUZ)

<sup>3</sup>Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín (URRE)

## 48 - Explorando condiciones adecuadas para el cultivo del camarón de agua dulce *Macrobrachium borellii*

Pau Germino, Gonzalo Coccolo, Valentín Villamonte, Emily Sol García Martínez, Carolina Tropea, Laura S. López Greco

Por la sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura

### Explorando condiciones adecuadas para el cultivo del camarón de agua dulce *Macrobrachium borellii*

Coccolo, Gonzalo\*; Germino, Pau\*; Villamonte, Valentín\*; García Martínez, Emily Sol; Tropea, Carolina; Lopez Greco, Laura S.

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Biología de la Reproducción, Crecimiento y Nutrición de Crustáceos Decápodos. Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental e Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA, UBA-CONICET).

\*Autores con igual nivel de participación.

[panza.coccolo@gmail.com](mailto:panza.coccolo@gmail.com); [psgermino@gmail.com](mailto:psgermino@gmail.com); [valentin99villamonte@gmail.com](mailto:valentin99villamonte@gmail.com)

#### Introducción

Conocer las condiciones más adecuadas de



## 59 - Evaluación del ‘agua de macho’ como posible herramienta para acelerar la maduración ovárica en hembras del camarón ornamental *Neocaridina davidi* (Decapoda, Caridea)

Angeles Amette Estrada, Laura Susana López Greco, Carolina Tropea

**XII Firma 2023 online** UBA Universidad de Buenos Aires Equivale a los cursos de grado y de posgrado de 2023

Resumen de la actividad de extensión, docencia e investigación

### Evaluación del ‘agua de macho’ como posible herramienta para acelerar la maduración ovárica en hembras del camarón ornamental *Neocaridina davidi* (Decapoda, Caridea).

Amette Estrada, Ángeles; López Greco Laura Susana; Tropea Carolina\*

(1)Universidad de Buenos Aires, CONICET, Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA), FCEyN, DBBE, Laboratorio de Biología de la Reproducción y el Crecimiento de Crustáceos Decápodos, Buenos Aires, Argentina.  
\*E-mail: carolatropea@gmail.com

#### INTRODUCCIÓN

*Neocaridina davidi* es una especie de camarón de agua dulce nativa del sudeste asiático, cultivada a nivel mundial dada su atractiva coloración.

## 75 - Efecto del aceite esencial de orégano como inhibidor del quorum quenching en las afecciones causadas por *Vibrio parahaemolyticus* en camarones *Litopenaeus vannamei*

Nahomy Teran Salazar, Yeleny Pozo, Diana Tomala, Karla Tomala

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

### EFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO COMO INHIBIDOR DEL QUORUM QUENCHING EN LAS AFECCIONES CAUSADAS POR *Vibrio parahaemolyticus* EN CAMARONES *Litopenaeus vannamei*.

Autores: Nahomy Terán Salazar\*, Yeleny Pozo Dominguez, Diana Tómalá Gonzabay & Karla Tómalá. Email: nahomy.teransalazar@upsc.edu.com

Docente Tutora: Aic. Soimya Mendoza Pá. D. smendoza@upsc.edu.ec

#### RESUMEN

En la actualidad, la sanidad acuícola es fundamental para reducir la incidencia de enfermedades y agentes patógenos que afectan la producción. Aunque existen diversas enfermedades en camarones relacionadas con *Vibrio sp.*, el *Vibrio parahaemolyticus*, es un agente etiológico prevalente en las granjas camaroneras y causante de enfermedades como la Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND), registrada por primera vez en China, año 2009, continuando su propagación hasta Latinoamérica, generando pérdidas hasta del 100% en fases de engorda y larvaria. El objetivo de este biensayo fue evaluar el efecto del aceite esencial de orégano como inhibidor, controlador del quorum quenching y de las posibles afectaciones patológicas causadas por este vibrio en camarones *Litopenaeus vannamei*, buscando alternativas amigables con el camarón y con el ambiente. Este estudio se dividió en cuatro grupos: 1. Control, 2. Tratamiento sin profilaxis, 3. Tratamiento A + profilaxis (5 días pre inoculación de la bacteria), 4. Tratamiento B + profilaxis (el día de la inoculación). Se suministró 2 ppm de aceite esencial de orégano como profiláctico y se inoculó concentraciones bacterianas  $10^5$  de *Vibrio parahaemolyticus* por 3 días siguiendo la escala de McFarland, realizando análisis de patología in fresco y microbiología antes y después de la infección. Se realizaron observaciones de signos clínicos observados en los tratamientos: siendo el 7. Tratamiento sin profilaxis el más afectado por melanizaciones en cutícula, resultados de la





## 114 - Efecto de alimentos comerciales sobre el crecimiento y la fisiología de juveniles tempranos de la centolla *Lithodes santolla*

Hernán Sacristán, Paula Sotelano, Olga Florentín, Pablo Di Salvatore, Ayelén Mattenet, Gustavo Lovrich, Federico Tapella



### **EFFECTO DE ALIMENTOS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA FISIOLÓGIA DE JUVENILES TEMPRANOS DE LA CENTOLLA *Lithodes santolla***

Sacristán, Hernán<sup>1\*</sup>; Sotelano, Paula<sup>2\*</sup>; Florentín, Olga<sup>2</sup>; Pablo, Di Salvatore<sup>2</sup>; Mattenet, Ayelén<sup>2</sup>; Lovrich, Gustavo<sup>2</sup>; Tapella, Federico<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, CONICET, Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA, CONICET-UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Laboratorio de Biología de la Reproducción, Crecimiento y Nutrición de Crustáceos Decápodos, Intendente Guiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428E6A, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET), Laboratorio de Crustáceos y Ecosistemas Costeros, Houssay 200, Tierra del Fuego, Argentina.

## 115 - Influencia del fotoperiodo en el crecimiento de juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*

Elizabeth Mellissa Castillo Paico, Héctor Romero Camarena



### **INFLUENCIA DEL FOTOPERIODO EN EL CRECIMIENTO DE JUVENILES DE *Macrobrachium rosenbergii***

Elizabeth Castillo-Paico\*, Hector Romero Camarena

\*Escuela de Ingeniería Acuicola, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho - Perú

\*Email: castillomelissa153@gmail.com

#### **INTRODUCCIÓN**

La acuicultura se ha consolidado como una actividad económica de gran relevancia, destacando entre sus exponentes al camarón gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*), una especie que ha demostrado un significativo potencial para ingresar con fuerza al mercado internacional. La Universidad Nacional Agraria La Molina introdujo esta especie en el año 1982 en el Perú, focalizando su cultivo en la Región San Martín, siendo Acuicultura Las Palmas S.A.C. la empresa más representante de esta región, donde las

## 122 - Efecto de alimentos comerciales sobre el crecimiento y la fisiología de juveniles tempranos de la centolla *Lithodes santolla*

Hernán Sacristán, Paula Sotelano, Olga Florentín, Pablo Di Salvatore, Ayelén Mattenet, Gustavo Lovrich, Federico Tapella



DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2023

PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN DE LAS RECURSOS ACUICULTURALES Y LA ACUICULTURA

### EFFECTO DE ALIMENTOS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA FISIOLÓGÍA DE JUVENILES TEMPRANOS DE LA CENTOLLA *Lithodes santolla*

Sacristán, Hernán<sup>1\*</sup>; Sotelano, Paula<sup>2\*</sup>; Florentín, Olga<sup>2</sup>; Pablo, Di Salvatore<sup>2</sup>; Mattenet, Ayelén<sup>2</sup>; Lovrich, Gustavo<sup>2</sup>; Tapella, Federico<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, CONICET, Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA, CONICET-UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Laboratorio de Biología de la Reproducción, Crecimiento y Nutrición de Crustáceos Decápodos, Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET), Laboratorio de Crustáceos y Esqueletos Cartagos, Uruquía 200, Tierra del Fuego, Argentina.

## 130 - Niveles de alimentación en la supervivencia y crecimiento de *Macrobrachium tenellum* en policultivo con tilapia *Oreochromis niloticus* en sistemas de biofloc

Carlos Gómez Virgen, Daniel Espinosa Chaurand, Leonardo Martínez Cárdenas



DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2023

PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN DE LAS RECURSOS ACUICULTURALES Y LA ACUICULTURA

### Niveles de alimentación en la supervivencia y crecimiento de *Macrobrachium tenellum* en policultivo con tilapia *Oreochromis niloticus* en sistemas de biofloc

Carlos Gómez Virgen<sup>1</sup>, Daniel Espinosa Chaurand<sup>2</sup>, Leonardo Martínez Cárdenas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Biológicas Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México.

<sup>2</sup>Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Calle Dos #23, Ciudad del Conocimiento, Tepic, Nayarit, México.

<sup>3</sup>Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México.  
E-mail: carlos.espinosa1616@unsnr.com

## 134 - Optimización de la producción de camarón marino *Litopenaeus vannamei* tierra adentro mediante tecnología biofloc

Carlos Alvarado, Anibal Lira, Oscar Isaac Cruz-Mena



### **Optimización de la producción de camarón marino *Litopenaeus vannamei* tierra adentro mediante tecnología biofloc**

Carlos Alvarado Ruiz<sup>1</sup>, Anibal Lira Arauz<sup>2</sup>, Óscar Isaac Cruz-Mena<sup>2</sup>

1Dirección de Fomento Pesquero y Acuicola. INCOPECSA.  
2Estación Experimental Acuicola Los Diamantes, INCOPECSA  
E-mail:ocruz@incopecsa.go.cr

## 171 - Efecto de la harina de grillo sobre el crecimiento y supervivencia de postlarvas de camarón *Penaes vannamei* en raceway

Galo Alexander Cedeño Zambrano, Marjorie Armenia Idrovo Vishuete, Rodolfo Patricio Panta Vélez, Juan José Bernal Zambrano, Fernando Ramón Isea León



### **EFFECTO DE LA HARINA DE GRILLO SOBRE EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE POSTLARVAS DE CAMARÓN *Penaes vannamei* EN RACEWAY**

**Galo Alexander Cedeño Zambrano, Marjorie Armenia Idrovo Vishuete, Rodolfo Patricio Panta Vélez, Juan José Bernal Zambrano, Isea León Fernando Ramón**

Grupo de Investigación de Nutrición y Alimentación Acuicola (GINAA), Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables (DAPRNR), Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar (FACM), Universidad Técnica de Manabí (UTM). Provincia de Manabí, Bahía de Caráquez, Ecuador.

## 175 - Formulación de una crema humectante a base del quitosano extraído de los desechos de la industria camaronera

Andrea Ávila Figueroa, Denniell Millán Aguilera, Shirley Marfisi, Victoria Salazar, Blanca Rojas de Gascue, Odelina Osses



**XII Firma 2023 online**

Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

Por la sostenibilidad de los recursos naturales y la sustentable

**FORMULACIÓN DE UNA CREMA HUMECTANTE A BASE DEL QUITOSANO EXTRAÍDO DE DESECHOS DE LA INDUSTRIA CAMARONERA**

Andrea Ávila Figueroa<sup>1</sup>, Denniell Millán Aguilera<sup>1</sup>, Shirley Marfisi<sup>1</sup>  
Victoria Salazar<sup>1</sup>, Blanca Rojas de Gascue<sup>2</sup>, Odelina Osses<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Sistemas Dispersos y Ambiente, <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Cs. Aplicadas, Universidad de Oriente, <sup>3</sup>Lab. Ampel de Venezuela

E-mail: andreafl276@gmail.com

## 202 - Respuestas de postlarvas de *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) expuestas a sulfato cúprico para el control de bivalvos invasores

Katherine Malavé, César Lodeiros, Luis Felipe Freites Valbuena, Dwight Arrieche Galíndez



**XII Firma 2023 online**

Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

Por la sostenibilidad de los recursos naturales y la sustentable

**Respuestas de postlarvas de *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) expuestas a sulfato cúprico para el control de bivalvos invasores**

Katherine Malavé<sup>1</sup>, César Lodeiros<sup>1,2</sup>, Luis Freites<sup>1</sup>, Dwight Arrieche<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología Pesquera, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Venezuela.  
<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos, Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador  
<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas Dra. Susari Tai, Universidad de Oriente, Venezuela.  
E-mail: katherinemalave57@gmail.com

**INTRODUCCIÓN**

## 217 - Cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*, Bone 1931) en jaulas flotantes como alternativa productiva para el sector pesquero artesanal del Golfo de Nicoya, Costa Rica

Elman Calvo Elizondo, Jonathan Chacón Guzmán, Gaby Dolz Wiedner, Carolina Elizondo Ovares

 **XII Firma 2023 online**

Coloque sus logos institucionales en este espacio

Del 22 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

BOGOTÓ - SELECCIÓN DE PARTICIPACIONES DE LA 12ª FIRMA ONLINE



**Cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*, Bone 1931) en jaulas flotantes como alternativa productiva para el sector pesquero artesanal del Golfo de Nicoya, Costa Rica.**

Elman Calvo-Elizondo<sup>1</sup>, Jonathan Chacón-Guzmán<sup>2</sup>, Gaby Dolz-Wiedner<sup>2</sup>, Carolina Elizondo-Ovares<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Parque Marino del Pacífico, Costa Rica  
<sup>2</sup>Universidad Nacional de Costa Rica  
<sup>3</sup>Servicio Nacional de Salud Animal, MAG, Costa Rica  
E-mail: [aculcultura@parquemarino.org](mailto:aculcultura@parquemarino.org)

**Resumen:** En este estudio se comparó el cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes con el método tradicional en un estanque. Se utilizó el mismo tipo de camarón y se observaron diferencias significativas en el ambiente de cultivo y la incidencia de enfermedades. Las jaulas

## Sustentabilidad de explotación y acuicultura

### 5 - Análisis de los niveles de metilación en tejido gonadal de *Solea senegalensis*

Daniel Ramírez, Carolina Peñaloza, Robert Mukiibi, Diego Robledo, Helena D'Cotta, María Esther Rodríguez, Laureana Rebordinos



### 6 - Estudio comparativo de metilación en hembras de *Solea senegalensis*

Daniel Ramírez, Carolina Peñaloza, Robert Mukiibi, Helena D'Cotta, María Esther Rodríguez, Laureana Rebordinos, Diego Robledo



41 - Effect of heat treatment, hydrocolloid and Brassica concentration on texture properties of a Sarração pâté

Joana Solinho, Sofia Machado, Rita Pinheiro

**XII Firma 2023 online**

**ipvc CISA5**

**Blue Project**

Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023

**Effect of heat treatment, hydrocolloid and Brassica concentration on texture properties of a Sarração pâté**

Solinho, J.<sup>1,2</sup>, Machado, S.<sup>2</sup>, Pinheiro, R.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigação e Desenvolvimento em Sistemas Agroalimentares e Sustentabilidade (CISA5) do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Avenida Atlântico, 4900-348 Viana do Castelo, Portugal

<sup>2</sup>Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Avenida Atlântico, 4900-348 Viana do Castelo, Portugal

53 - Sistemas de alimentación mixtos: Acuicultura en áreas de manejo

Cristian Andrés Sepúlveda Cortes, Héctor Basaure

**SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN MIXTOS: Acuicultura en áreas de manejo.**

**¿Por qué hacer acuicultura en Áreas de Manejo?**  
Para mejorar su desempeño productivo y económico.

Organizaciones	Nº de AMERB	Superficie	Potencial AMERB (40%)	Relación (t/ha/año)
S.T.I Caleta San Pedro	3	100,7	40,2 %	1,8 %
A.G San Pedro	2	513,5	205,6 %	22 %
S.T.I Las conchas	2	170,2	70,6 %	10 %
S.T.I Agostia Hub	1	24,5	9,8 %	0 %
A.G Las Conchas	2	128,8	51,5 %	1 %
Coop. Los Vitis	2	337,8	134,9 %	10 %
S.T.I Lord Willow	1	12,6	5,3 %	4 %

OPAS 7 → AMERB +23 (+1300 H) → ALBER +520 H (100% - Reg. APE) +120 H (100%)

**¿Por qué?**

Porque entrega herramientas de diversificación productiva a las comunidades costeras que operan en las AMERB, para que fortalezcan la sostenibilidad de sus medios de vida, como parte de una estrategia de resiliencia y adaptación a los cambios de escala global.

**¿Para qué se invierte en esto?**

Para desconcentrar la actividad acuícola, diversificar las especies...

**¿Cuáles son las primeras brechas?**



62 - Efecto antioxidante de la astaxantina proveniente del hidrolizado de subproductos de camarón ( *Penaeus vannamei*) sobre el estrés en Tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Roxana Pillaca Llamocca



**XII Firma 2023 online**

**UNIVERSIDAD DE LIMA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2022

**EFFECTO ANTIOXIDANTE DE LA ASTAXANTINA PROVENIENTE DEL HIDROLIZADO DE SUBPRODUCTOS DE CAMARON (*Penaeus vannamei*) SOBRE EL ESTRÉS EN TILAPIA DE NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Roxana Pillaca <sup>1</sup>, Jessie Vargas <sup>1</sup>, Verónica Sierralta <sup>1</sup>, Cynthia Guerrero <sup>1</sup>, Ivan Soto <sup>1</sup>, Javier Quino-Favero <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.  
<sup>2</sup> Universidad de Lima, Instituto de Investigación Científica, Lima - Perú.

E-mail ✉ [20100430@lamolina.edu.pe](mailto:20100430@lamolina.edu.pe); [pillacali.roxana@gmail.com](mailto:pillacali.roxana@gmail.com)

**INTRODUCCION**

La tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una especie de gran demanda cuya producción mundial representa el 71% y que muchas veces se cultiva en altas densidades, por ende, se hace imprescindible la búsqueda de ingredientes funcionales que ayuden con la expansión e intensificación de los sistemas de cultivo aliviando el estrés originado por hacinamiento.

66 - Sustitución de harina de pescado por proteína de soya en alimentos para camarón utilizando hidrolizado de krill (OlyPep®) como estimulante del apetito

Julio López Alvarado, Karl Erik Slinning



**XII Firma 2023 online**

**RIMFROST**  
KRILL COLLOIDAL  
-HYDROLYSATE

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2022

**Sustitución de harina de pescado por proteína de soya en alimentos para camarón utilizando hidrolizado de krill (OlyPep®) como estimulante del apetito**

Julio Lopez Alvarado<sup>1</sup>, Karl-Erik Slinning<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rimfrost AS, Notenesgata 6, 6002 Alesund, Norway  
E-mail: [julio.lopez.alvarado@rimfrostgroup.com](mailto:julio.lopez.alvarado@rimfrostgroup.com)

El objetivo de este estudio fue ver el efecto de un hidrolizado de krill

68 - Evaluación de calidad del agua con fines de producción piscícola en el embalse Masparro, estado Barinas, Venezuela.

Germán Antonio Poleo Camejo, Zuhelen Cristina Valencia, Lué Merú Marcó, Juan Carlos Carpintero

**XII Firma 2023 online**

Coloque sus logos institucionales en este espacio

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA CON FINES DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN EL EMBALSE MASPARRO, ESTADO BARINAS, VENEZUELA**

Germán Antonio Poleo<sup>1</sup>, Zuhelen Cristina Valencia<sup>2</sup>, Lué Merú Marcó<sup>3</sup>, Juan Carlos Carpintero<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estación de Piscicultura, Departamento de Producción Animal, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela. [gpoleo@ucla.edu.ve](mailto:gpoleo@ucla.edu.ve)

<sup>2</sup>Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. [zuhelenvalencian@gmail.com](mailto:zuhelenvalencian@gmail.com)

<sup>3</sup>Departamento de Química y Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Cabudare, Lara, Venezuela

<sup>4</sup>Unidad de Análisis Instrumental, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Cabudare, Lara, Venezuela

**Introducción**

79 - Diagnostico del desarrollo sostenible de la comunidad pesquera de adicora. Dimensión económica. Caso: Consejo Socialista De Pescadores y Acuicultores (CONPPA-Adicora)

María Virginia Guanipa Maldonado, Jesús Méndez, Luis González

**XII Firma 2023 online**

DEL 27 DE ABRIL AL 27 DE JUNIO DE 2023

**DIAGNOSTICO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA COMUNIDAD PESQUERA DE ADÍCORA. DIMENSIÓN ECONÓMICA. CASO: CONSEJO SOCIALISTA DE PESCADORES Y ACUICULTORES (CONPPA-Adicora)**

María V. Guanipa Maldonado<sup>1</sup>, Jesús Méndez<sup>1</sup>, Luis González<sup>1</sup>

1. Campo Experimental Las Piedras. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Punto Fijo Edo. Falcón

Autor de correspondencia: [mguanipa@inia.go.ve](mailto:mguanipa@inia.go.ve) / [virmar86@gmail.com](mailto:virmar86@gmail.com)

**INTRODUCCION**

La definición de desarrollo sostenible que se cita con mayor frecuencia es la propuesta por la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, conocida también como comisión de Bruntland, en 1987. En su informe a la Asamblea General de las Naciones Unidas, que lleva por nombre "Nuestro Futuro Común" donde se definió al desarrollo sostenible como "el

## 83 - Diversidad genética del erizo de mar gallego y su aplicación en la conservación. OURIXEN

Javier Quinteiro, Nieves González, Pedro Cuiñas Olmedo, Justa Ojea Martínez, Carlos Gabín-Sánchez, Cofradías es un conjunto de 12 Cofradías de Pescadores, Manuel Rey-Méndez

**XII Firma 2023 online** XUNTA DE GALICIA EUROPEAN UNION USC REDEMAR

**Diversidad genética del erizo de mar gallego y su aplicación en la conservación. OURIXEN.**

J. Quinteiro<sup>1</sup>, N. González<sup>1</sup>, P. Cuiñas Olmedo<sup>2</sup>, J. Ojea Martínez<sup>2</sup>, C. Gabín-Sánchez<sup>2</sup>, Cofradías<sup>3</sup>, M. Rey-Méndez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Bioquímica e Bioloxía Molecular/Instituto de Acuicultura, Universidade de Santiago de Compostela, 15782-Santiago de Compostela (España).

<sup>2</sup>Centro de Investigacións Mariñas (CIMA), Xunta de Galicia

<sup>3</sup>Federación de Cofradías de Galicia, Cofradías de Pescadores de Ribadeo, Ceieiro y O Vicedo, A Coruña, Camariñas, Lira, Carreira y Aguño, O Grove, Cangas, Vigo, Baiona, A Guarda.

E-mail: Manuel.rey.mendez@usc.es

**INTRODUCCIÓN:** La pesquería anual del erizo de mar (*Paracentrotus lividus*, Lamarck 1816) en Galicia (España) es de alrededor de 8000 toneladas, proporcionando en la actualidad unos 7,5 millones de euros (<https://www.pescadegalicia.gal>) en primera venta, empleando a 595

## 146 - Fostering fish welfare for the future of aquaculture sustainability

Fatimazahra Jouga, Souraya Sakoui, Reda Derdak, Manuel Rey-Méndez, Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi

**XII Firma 2023 online** PCMB HIZ FS Ain Chock

**Fostering fish welfare for the future of aquaculture sustainability**

Fatimazahra Jouga<sup>1</sup>, Souraya Sakoui<sup>1</sup>, Reda Derdak<sup>1</sup>, Manuel Rey-Méndez<sup>2</sup>, Abdelaziz Soukri<sup>1</sup> and Bouchra El khalfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Physiopathology, Molecular Genetics & Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Health and Biotechnology Research Centre, Hassan II University of Casablanca, Maarif B.P 5366, Casablanca, Morocco.

<sup>2</sup> Laboratory of Molecular Systematics, Department of Biochemistry & Molecular Biology, Faculty of Biology/CIBUS & Institute of Aquaculture, University of Santiago de Compostela, Spain.

[173 - Aprovechamiento de residuos de la industria del langostino argentino en la elaboración de alimentos balanceados para Tilapia Nilótica: Un Estudio Experimental](#)

Damián Luis Castellini, Macarena Campins, Nair de los Ángeles Pereira



DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2022

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL LANGOSTINO ARGENTINO EN LA ELABORACION DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA TILAPIA NILOTICA: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL

Castellini Damián L.<sup>1</sup>, Campins Macarena<sup>2</sup>, Pereira Nair<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mar del Plata. Grupo de investigación LACUI, Mar del Plata, Argentina.

<sup>2</sup> Laboratorio de Análisis Industriales, Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mar del Plata, Prov. de Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), FCEyN, UNMDP-CONICET

E-mail: damiancastellini@gmail.com

**INTRODUCCIÓN**

La producción mundial de pescado se espera que crezca a un ritmo anual del 1,2% hasta alcanzar 201.

[194 - Materia orgánica y porosidad de aireación de un vertisol cultivado con \*Oryza sativa\* L. POR efecto de la cría intensiva de \*Tinca tinca\* L.](#)

Elizabeth Pulido Miniet, Ángel Chávez Niñez, Sergio Rodríguez Rodríguez, Beatriz González Rosales, José Sariol Bonilla, Sandra Leonela López Álvarez, Guillermo Bello Rodríguez



DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2022

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL LANGOSTINO ARGENTINO EN LA ELABORACION DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA TILAPIA NILOTICA: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL

**MATERIA ORGÁNICA Y POROSIDAD DE AIREACIÓN DE UN VERTISOL CULTIVADO CON *Oryza sativa* L. POR EFECTO DE LA CRÍA INTENSIVA DE *Tinca tinca* L.**

Elizabeth Pulido Miniet<sup>1</sup>, Ángel Chávez Niñez<sup>1</sup>, Sergio Rodríguez Rodríguez<sup>2</sup>, Beatriz González Rosales<sup>3</sup>, José Sariol Bonilla<sup>2</sup>, Sandra López Álvarez<sup>2</sup> y Guillermo Bello Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empresa Agroindustrial de Granos Fernando Echenique. Bayamo. Granma. Cuba.

<sup>2</sup> Universidad de Granma. Cuba.

<sup>3</sup> Centro Meteorológico Provincial. Granma. Cuba.

## Mercado y mercadeo de productos acuícolas

### 12 - Calidad nutricional y evaluación sensorial del chame *Dormitator latifrons*

Alexandra Elizabeth Bermúdez Medranda, Milber Oswaldo Ureña Peralta, Yanis Cruz Quintana, Ana Elizabeth Reyes Lucas

The cover features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and several institutional logos on the right, including SAISA and EPG. Below the header, the title 'Calidad nutricional y evaluación sensorial del chame *Dormitator latifrons*' is prominently displayed. The authors' names are listed below the title. A green bar at the bottom of the cover contains the word 'Introducción'.

**XII Firma 2023 online**

Del 23 de noviembre al 31 de diciembre de 2023

**Calidad nutricional y evaluación sensorial del chame  
*Dormitator latifrons***

Alexandra E Bermúdez-Medranda<sup>1,2</sup>, Milber Ureña-Peralta<sup>3</sup>, Yanis Cruz-Quintana<sup>1</sup>, Ana Reyes Lucas

<sup>1</sup> Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables. Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad y Salud Ambiental. Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar. Universidad Técnica de Manabí. Bahía de Caráquez, Manabí 130104, Ecuador

<sup>2</sup> Doctorado en Ciencia de Alimentos, Facultad de Industrias Alimentarias y Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería de Alimentos y Productos Agropecuarios, Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

\*e-mail de correspondencia: alexandra.bermudez@utman.edu.ec

**Introducción**

### 45 - Efecto del transporte en la supervivencia y estrés en juveniles del caballito esbelto *Hippocampus reidi*

Melissa Barrera Flores

The cover features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and several institutional logos on the right, including UNAM and CINMAR IPN. Below the header, the title 'EFECTO DEL TRANSPORTE EN LA SUPERVIVENCIA Y ESTRÉS EN JUVENILES DEL CABALLITO ESBELTO *Hippocampus reidi*' is prominently displayed. The author's name is listed below the title. A green bar at the bottom of the cover contains the word 'Introducción'.

**XII Firma 2023 online**

Del 23 de noviembre al 31 de diciembre de 2023

**EFECTO DEL TRANSPORTE EN LA  
SUPERVIVENCIA Y ESTRÉS EN JUVENILES  
DEL CABALLITO ESBELTO *Hippocampus reidi***

Melissa Barrera-Flores<sup>1</sup>, Eliezer Zúñiga-Villarreal<sup>2</sup>, Renato Peña<sup>1</sup>, Luis M. Burciaga-Cifuentes<sup>3</sup>, Carlos McGregor-Bravo<sup>1</sup>, Renata P. Mata-Miranda<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Unidad Piloto de Maricultivo. 26096 La Paz, B.C.S. México.

<sup>2</sup>INGENS Cultivos Marinos. Mazatlán, Sinaloa, 82110. México. <http://ingensonline.com>

<sup>3</sup>Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

E-mail: Melbarreraf@outlook.com

**Introducción**

## [89 - Comparación de la normativa sanitaria peruana y regulaciones COVID-19 para la comercialización pesquera internacional con China y Estados Unidos](#)

Manuela Vivanco Salazar, Luis Antonio Llanco Albornoz, Marcos Enrique Serrano Martínez

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and logos for 'UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA', 'CONCYTEC', and 'FONDECYT' on the right. The title is prominently displayed in the center. Below the title, the authors' names are listed with their respective affiliations. A small icon of a factory is on the right side. At the bottom, a dark blue banner contains the word 'INTRODUCCIÓN' in white capital letters.

**XII Firma 2023 online**

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA CONCYTEC FONDECYT

Del 29 de noviembre al 01 de diciembre de 2022

BOLEÍN DE RESPONSABILIDAD DE LOS PRODUCTOS ACUICOLAS Y LA ACUICULTURA

### Comparación de la normativa sanitaria peruana y regulaciones COVID-19 para la comercialización pesquera internacional con China y Estados Unidos

Manuela Vivanco S<sup>1</sup>, Luis Llanco A<sup>2</sup>, Enrique Serrano-Martínez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Becaria FONDECYT-CONCYTEC de Maestría en Sanidad Acuicola - Universidad Peruana Cayetano Heredia  
<sup>2</sup>Escuela de Medicina Humana, Universidad Privada San Juan Bautista, Sede Chincha, Perú  
<sup>3</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú  
\* E-mail: vivanco.manuela.s@gmail.com

**INTRODUCCIÓN**

El control riguroso de las normas sanitarias para la exportación de productos pesqueros es clave

## [125 - Evaluación fisicoquímica y microbiológica de tres alimentos balanceados comerciales para engorde del camarón blanco \*Penaeus vannamei\*](#)

Susan Alejandra Vélez Farías, Juan José Bernal Zambrano, Fernando Ramón Isea León

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and logos for 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ', 'FACM', and 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ' on the right. The title is prominently displayed in the center. Below the title, the authors' names are listed with their respective affiliations. At the bottom, a yellow banner contains the word 'INTRODUCCIÓN' in black capital letters.

**XII Firma 2023 online**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ FACM UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

Del 29 de noviembre al 01 de diciembre de 2022

BOLEÍN DE RESPONSABILIDAD DE LOS PRODUCTOS ACUICOLAS Y LA ACUICULTURA

### EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE TRES ALIMENTOS BALANCEADOS COMERCIALES PARA ENGORDE DE CAMARÓN BLANCO *Penaeus vannamei*

Vélez Farías Susan Alejandra, Bernal Zambrano Juan José, Isea León Fernando Ramón.

Grupo de Investigación de Nutrición y Alimentación Acuicola [GINAA]. Carrera de Acuicultura, Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar, Universidad Técnica de Manabí, Provincia de Manabí, Bahía de Caráquez, Ecuador.

E-mail: svelez41636@utm.edu.ec

**INTRODUCCIÓN**

[214 - Incorporation of \*Chlorella vulgaris\* in mayonnaise – a sustainable and healthy strategy](#)

Pedro Coelho, Sheyma Khemiri, Diogo Figueira, Isabel Sousa, Anabela Raymundo

XII Firma  
2023 online

PRR  
REPUBLICA PORTUGUESA

LISBOA  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

YFFIA FOOD  
YOUNG FOOD INNOVATION AWARDS

PAR 24 2023/2024 DA 1.ª SÉRIE DE CONFERÊNCIAS DE FIRMAS

PAR 24 2023/2024 DA 1.ª SÉRIE DE CONFERÊNCIAS DE FIRMAS

## Incorporation of *Chlorella vulgaris* in mayonnaise – a sustainable and healthy strategy

Coelho, P<sup>1</sup>., Khemiri, S. <sup>1</sup>, Figueira, D. <sup>2</sup>, Sousa, I. <sup>1</sup>,  
Raymundo, A<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>. Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food (LEAF);  
School of Agronomy, Lisbon University (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon,  
Portugal  
E-mail: pmcoelho@isa.lisboa.pt

# Biotecnología y bioproductos

## 1 - Aplicabilidad de vacunas orales en peces de acuicultura

María Belén Fandiño Viqueira, Pablo Riera Fernández, Denis Rodríguez Castro, Aldara Betanzos Freire, Belén Budiño Rodríguez, Natalia Mallo Seijas, Santiago Cabaleiro Martínez

The abstract features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo and several institutional logos including the European Union, the Spanish Government, and the University of A Coruña. The title 'APLICABILIDAD DE VACUNAS ORALES EN PECES DE ACUICULTURA' is prominently displayed in bold blue letters. Below the title, the authors' names are listed: M.B. Fandiño<sup>1</sup>, P. Riera<sup>1</sup>, D. Rodríguez<sup>1</sup>, A. Betanzos<sup>1</sup>, B. Budiño<sup>1</sup>, N. Mallo<sup>1,2</sup>, and S. Cabaleiro<sup>1\*</sup>. The affiliations are provided: <sup>1</sup> Centro Tecnológico del Clúster de la Acuicultura (CETGA), Ribeira, España; and <sup>2</sup> Grupo de Investigación en Biología Evolutiva, Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA), Universidad de A Coruña, España. The abstract begins with the heading 'INTRODUCCIÓN' and the first sentence: 'Si bien la vacunación se perfila como una de las herramientas de prevención más eficaces para combatir las patologías, la administración de las vacunas mediante la vía inyectable, a pesar de ser muy eficaz, es engorrosa y genera estrés a los animales. El desarrollo de vacunas

## 19 - Evaluación in vitro de la hidrólisis de microalgas por acción de extractos extracelulares (ECPs) de bacterias probióticas

Alba Galafat Díaz, María Isabel Sáez Casado, Antonio Jesús Vizcaíno Torres, Jorge García Márquez, Miguel Ángel Moriñigo, Tomás Francisco Martínez Moya, Francisco Javier Alarcón López

The abstract features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo and the text 'Coloque sus logos institucionales en este espacio'. The title 'EVALUACIÓN IN VITRO DE LA HIDRÓLISIS DE MICROALGAS POR ACCIÓN DE EXTRACTOS EXTRACELULARES (ECPs) DE BACTERIAS PROBIÓTICAS' is prominently displayed in bold black letters. Below the title, the authors' names are listed: Galafat A<sup>1</sup>, Sáez MI<sup>1</sup>, Vizcaíno AJ<sup>1</sup>, García-Márquez J<sup>2</sup>, Moriñigo MA<sup>2</sup>, Martínez TF<sup>1</sup>, and Alarcón FJ<sup>1</sup>. The affiliations are provided: <sup>1</sup>Dpto. Biología y Geología, Universidad de Almería; and <sup>2</sup>Dpto. Microbiología, Universidad de Málaga. The abstract begins with the heading 'INTRODUCCIÓN' and the first sentence: 'Si bien la vacunación se perfila como una de las herramientas de prevención más eficaces para combatir las patologías, la administración de las vacunas mediante la vía inyectable, a pesar de ser muy eficaz, es engorrosa y genera estrés a los animales. El desarrollo de vacunas



[36 - Capacidad inmunomoduladora in vitro del péptido NK-Lisina de lubina](#)  
Laura Cervera, Elena Chaves-Pozo, Alberto Cuesta

The abstract features a header with logos for 'XII Firma 2023 online', 'CSIC', 'UNIVERSIDAD DE MURCIA', and 'ASOCIACIÓN DE ACUICULTORES'. Below the logos, the text reads: 'Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023' and 'Revista de sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura'. The main title is 'Capacidad inmunomoduladora in vitro del péptido NK-Lisina de lubina' in green. The authors are 'Laura Cervera<sup>1,2</sup>, Elena Chaves-Pozo<sup>2</sup>, Alberto Cuesta<sup>1</sup>'. The affiliations are: <sup>1</sup>Grupo Inmunobiología para la Acuicultura, Departamento de Biología Celular e Histología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia, 30100, Murcia, España; <sup>2</sup>Centro Oceanográfico de Murcia, Instituto Español de Oceanografía (COMU-IEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Carretera de la Azohía s/n, Puerto de Mazarrón, 30860, Murcia, España. The contact email is 'laura.cervera@um.es'. A green bar at the bottom contains the word 'Introducción'.

[43 - Residuos de la acuicultura de esturión ruso: exposición a condiciones industriales para evaluar su potencial aplicación](#)  
María Victoria Laitano, Clara Liebana, Alejandro Perretta, Ignacio Quartiani, Ivana Soledad Friedman, Yamila Eliana Rodríguez, Juana Cristina Del Valle

The abstract features a header with logos for 'XII Firma 2023 online', 'CONICET', 'IIMYC', 'FVET', and 'UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY'. Below the logos, the text reads: 'Del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023' and 'Revista de sostenibilidad de los recursos acuáticos y la acuicultura'. The main title is 'Residuos de la acuicultura de esturión ruso: exposición a condiciones industriales para evaluar su potencial aplicación' in black on an orange background. The authors are 'Laitano María Victoria<sup>1</sup>, Liebana Clara<sup>1</sup>, Perretta Alejandro<sup>2</sup>, Quartiani Ignacio<sup>2</sup>, Ivana S. Friedman<sup>1</sup>, Yamila E. Rodríguez<sup>1</sup>, J. Cristina Del Valle<sup>1</sup>'. The affiliations are: <sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), Mar del Plata, Argentina; <sup>2</sup>Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Unidad Académica).

## 56 - Avances de la aplicación de extractos de *Ulva sp.* en el cultivo in vitro de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.)

Cristina Chapilliquén Chávez, Juan Carlos Francia Quiroz, Oscar Reategui Arévalo

XII Firma 2023 online

CIENTIFICA UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

FORO DE SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS ACUICULTIVOS Y LA ACUICULTURA

### AVANCES DE LA APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE *Ulva sp.* EN EL CULTIVO *IN VITRO* DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

Chapilliquén C.<sup>1</sup>, Francia-Quiroz J.C.<sup>1</sup>, Reategui O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Carretera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú.  
E-mail: chapilliquen.cristina@gmail.com

#### INTRODUCCIÓN

## 58 - Estudio comparativo de la eficiencia de alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con biofloc generado a partir humus de lombriz (HUMUSOL)

Martin Alfredo Añez Navas



### ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ALIMENTACIÓN DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) CON BIOFLOC GENERADO A PARTIR DE HUMUS DE LOMBRIZ (HUMUSOL)

Añez, Martín  
dguanayen@yahoo.com

#### RESUMEN

HUMUSOL, mejorador de sustratos orgánicos con carga bacteriana de celulolíticos, proteolíticos, amonificantes, nitrificantes, desnitrificantes, sulfato reductores y sulfuroxidantes, los que pueden promover el biofilm. Experimento realizado en la Roca Alamar, en estanques públicos situados a dos mil litros a media capacidad, con densidad de 50 organismos por m<sup>2</sup>, utilizando dos tanques por grupo con tratamientos diferentes, los primeros fueron tratados con alimento concentrado más biofloc, el segundo solo con biofloc y los del grupo tres con alimentación convencional. La realización mediciones constantes de peso de los peces y parámetros físico-químicos del agua de los tanques. El tratamiento más eficiente fue el de alimento + biofloc con un 17% por encima de la alimentación convencional. Estos resultados se basan en el mayor consumo de peso en el primer grupo en toda la experiencia. Se concluye que la biotecnología es una alternativa para mejorar el

#### INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha aminorado una selección a la acuicultura en cuanto a problemas ambientales asociados a la descarga de los productos de desechos en las cuencas de aguas dependientes con la harina y aceite de pescado y reducir el costo de producción. Se realizó en el año 2014, entre los meses de junio a noviembre, en plena época de lluvias, con temperaturas ambientales que varían entre los 18° y los 25° C, en una finca ubicada en el sector El Seguro, Asentamiento Campesino La Subeja del municipio Yauyca, distrito Cayash de Yauyca, con la finalidad de investigar la efectividad del sistema de alimentación biofloc en la acuicultura usando alimento por la utilización de formas de lombriz comercial (HUMUSOL) como fuente de nitrógeno, carbono, y sobre todo de la carga bacteriana necesaria para los procesos biogénicos beneficiosos del sistema. Este estudio pretende evaluar su aporte desde el punto de vista ecológico preparándose un sistema alternativo de producción de

#### METODOLOGÍA

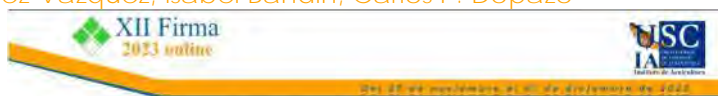
Se fueron criados de 2,000 lit, 300 litros en frasco plástica (30 por tanque), RH de Marabón de 7m y longitud 10x3, 16x3, 30x3 para sustratos agua dulce, Salinizada en 1° y 10°. Alimento de 1 ml de diámetro) de Roca Alamar de Roca Alamar. El caso de alimento concentrado por grupo (25 kg marca Tappi) solo 24 % de proteína balanceada, 10 carotenos, 10 mg yoduro de sodio de 5 kg suplementos, 6 litros de agua marca 3011 modelo U-4000, 24 ret de manguera plástica transparente para alimentación, 52 plantas artificiales de 6". Se hizo análisis de pH, temperatura de campo

Se fueron utilizados 100 litros de la especie *Oreochromis niloticus* por su disponibilidad en la época madre de la finca desde sus unidades en forma individual y se usaron cuatro tanques, uno con fines de alimentación personal.

Una vez preparado el biofloc y los sustratos disponibles, se utilizaron los tanques plásticos bajo marca Tappi, tipo de la finca, con un volumen de 300 por litro, 3.3 ml de alimento, biofloc, o su modo capacidad debido a condiciones climáticas de Roca Alamar en el momento de realizar la experiencia y para evitar el salto de los peces al exterior del tanque.

Se formaron en tres grupos de tanques con una única cada uno para asegurar la fiabilidad de los datos a través de los días, el sistema de alimentación por cada grupo.

[69 - Macroarray basado en PCR en Tiempo Real para el diagnóstico de virus en Acuicultura: Transferencia Tecnológica al Sector](#)  
Carmen López-Vázquez, Isabel Bandín, Carlos P. Dopazo



**Macroarray basado en PCR en Tiempo Real para el diagnóstico de virus en Acuicultura: Transferencia Tecnológica al Sector**

Carmen López-Vázquez<sup>1,2</sup>, Isabel Bandín y Carlos P. Dopazo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Acuicultura, Universidad de Santiago de Compostela  
<sup>2</sup>Aquatic One Health Research Center (ARCUS), Univ. de Santiago de Compostela  
E-mail: carlos.pereira@usc.es

[72 - Evaluación del efecto en la microbiota intestinal de tilapia nilótica \(\*Oreochromis niloticus\*\), al incorporar en su alimentación subproductos de origen marino ricos en ácidos grasos poliinsaturados: \*Schizochytrium\* y \*Argopecten ventricosu\*](#)  
Edgar Eduardo Orendain Esparza, Elena Palacios Mechetnov, Eduardo Quiroz Guzmán, María Olivia Arjona López



**Evaluación del efecto en la microbiota intestinal de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), al incorporar en su alimentación subproductos de origen marino ricos en ácidos grasos poliinsaturados: *Schizochytrium* y *Argopecten ventricosu***

Orendain-Esparza E.<sup>1</sup>, Palacios-Mechetnov, E.<sup>2</sup>, Arjona-López, M.O.<sup>3</sup> Quiroz-Guzmán, E.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de La Paz, La Paz, B.C.S., México. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México. <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México. <sup>4</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México  
E-mail: edgaroree1@gmail.com

## Introducción

[97 - Metodología de amplificación de los fragmentos del genoma mitocondrial de \*Cerastoderma glaucum\*](#)

Emma González Rosales, Lara Quinteiro, Javier Quinteiro, Manuel Rey Méndez

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left. A yellow banner at the top contains the text 'Actas de las Jornadas de la Asociación de Biología de 2023'. Below this, the title 'METODOLOGÍA DE AMPLIFICACIÓN DE LOS FRAGMENTOS DEL GENOMA MITOCONDRIAL DE CERASTODERMA GLAUCUM' is centered in bold black letters. The authors' names 'González-Rosales E, Quinteiro L; Quinteiro J, Rey-Méndez M' are listed below the title. The affiliation 'Dpto. Bioquímica e Biología Molecular / Instituto de Acuicultura, Universidad de Santiago de Compostela' and contact information 'E-mail: emma.gonzalez.rosales@rai.usc.es' are provided. At the bottom, the word 'INTRODUCCIÓN' is visible.

[99 - Método de shock térmico para tilapias triploides](#)

Mario Abraham Hernández Sagastume

The cover features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left and the 'USAC TRICENTENARIA' logo at the top right. A yellow banner at the top contains the text 'Actas de las Jornadas de la Asociación de Biología de 2023'. Below this, the title 'MÉTODO DE SHOCK TÉRMICO PARA TILAPIAS TRIPLOIDES' is centered in bold black letters. The author's name 'Hernandez-Sagastume, Mario A.' is listed below the title. The affiliation 'Universidad de San Carlos de Guatemala' and contact information 'E-mail: mariohacuacultor@hotmail.com' are provided.

## 101 - Rendimiento en la producción acuapónica de cinco variedades de tomate cherry, con carpa

David Cosme Casimiro Bonifacio, Aldo Alarcón, Romina Baggio, Silvana Guerrero, Laura López Greco, Andrea Tombari



### **Rendimiento en la producción acuapónica de cinco variedades de tomate cherry, con carpa.**

Casimiro Bonifacio DC<sup>1</sup>, Alarcón AJ<sup>2</sup>, Baggio RB<sup>1</sup>, Guerrero S<sup>2</sup>, López Greco LS<sup>3</sup>, Tombari AD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Contaminación Ambiental (CIT Río Negro-CONICET), Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro, Rotonda Cooperación y RP N° 1, 8500 - Viedma, Argentina.

<sup>2</sup> Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Valle Inferior del Río Negro, Ruta Nac.

## 103 - Uso de cepas bacterianas biocontroladoras en la disminución de mortalidad de salmónidos en acuicultura

José Miguel Vidal Araya, Pamela Andrea Ruiz Merino



José M. Vidal<sup>1</sup>, Mery De la Fuente<sup>1</sup>, Pamela Ruiz<sup>1,2</sup>, Carlos Carrasco<sup>1</sup>, Daniela Sepúlveda<sup>1</sup>, Javier Barros<sup>1</sup>, Homero Urrutia<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Investigación y Desarrollo, ECOMBIO LIMITADA, Concepción, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello, Autopista Concepción Taichuano # 7100, Taichuano, 4300866, Chile

<sup>3</sup>Laboratorio de Biopelículas y Microbiología Ambiental, Centro de Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Concepción, Victor Lamas 1290, Concepción, Chile.

<sup>4</sup>Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

## 107 - Efecto bioestimulante del alga parda *Sargassum liebmannii* en el cultivo de frijol mungo (*Vigna radiata*)

Sebastián Campas Gutiérrez, Adrián Alejandro Espinosa Antón, Rosalba Mireya Hernández Herrera

**XII Firma 2023 online**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2022

**EFECTO BIOESTIMULANTE DEL ALGA PARDA *Sargassum liebmannii* EN EL CULTIVO DE FRIJOL MUNGO (*Vigna radiata*)**

Sebastian Campas-Gutiérrez<sup>1</sup>, Adrian Alejandro Espinosa-Antón<sup>2</sup>, Rosalba Mireya Hernández-Herrera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.  
<sup>2</sup>Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, Jalisco  
E-mail: sebastian.campas.fcob22@uas.edu.mx

**INTRODUCCIÓN**

La aplicación de algas marinas y sus productos derivados a diferentes cultivos agrícolas mejora el rendimiento debido a la presencia en su biomasa de varios tipos de

## 111 - Modificación de la microbiota intestinal del pez modelo (*Danio rerio*) por efecto de tres probióticos autóctonos de Patagonia

Marisa E. Garcés, Magalí Marcos, Nelda Olivera, Mariano Moris, Cynthia Sequeiros

**XII Firma 2023 online**

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2022

**MODIFICACIÓN DE LA MICROBIOTA INTESTINAL DEL PEZ MODELO (*Danio rerio*) POR EFECTO DE TRES PROBIÓTICOS AUTÓCTONOS DE PATAGONIA**

Garcés, M.E.<sup>1</sup>, Marcos, M.<sup>2</sup>, Olivera, N.L.<sup>2</sup>, Moris, M.<sup>3</sup>, Sequeiros, C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CESIMAR CCT CONICET-CENPAT, Pto. Madryn, Chubut, Argentina  
<sup>2</sup>IPEEC CCT CONICET-CENPAT, Pto. Madryn, Chubut, Argentina  
<sup>3</sup>CCT CONICET-CENPAT, Pto. Madryn, Chubut, Argentina  
garcés\_marie@yahoo.com.ar

**INTRODUCCIÓN**

**ACUICULTURA SUSTENTABLE** Los probióticos son cada día más utilizados en acuicultura

[113 - Evaluación de la inclusión de productos marinos ricos en ácidos grasos poliinsaturados en el alimento para tilapia \(\*Oreochromis niloticus\*\) mediante expresión del gen FAD6](#)

Rosa Elvira Duran Encinas, Elena Palacios Mechetnov, Ma. Olivia Arjona Lopez, Crisalejandra Rivera Pérez



[118 - Encapsulation of \*Origanum compactum\* essential oil and evaluation of its chemical composition and its antibacterial activity against aquaculture pathogens.](#)

Asmaa Chbel, Abdelhakim Elmaksoudi, Manuel Rey-Méndez, Juan L. Barja, Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi



## 139 - Potencial bioactivo de extractos de macroalgas marinas del Oriente Venezolano

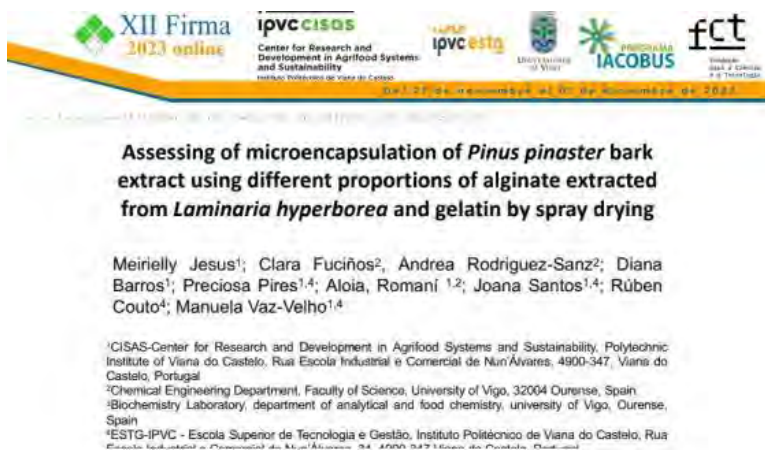
Leonor Brito L., Mary I. Segnini de B.



### INTRODUCCIÓN

## 141 - Assessing of microencapsulation of *Pinus pinaster* bark extract using different proportions of alginate extracted from *Laminaria hyperborea* and gelatin by spray drying

Meirielly Jesús, Clara Fuciños, Andrea Rodríguez-Sanz, Diana Barros, Preciosa Pires, Aloia Romani, Rúben Couto, Joana Santos, Manuela Vaz-Velho,





## 154 - Indicadores de calidad químicos y sensoriales de la vejiga natatoria de Tenca HG (*Hypophthalmichthys molitrix*)

Yeniset Fumero Acosta, Ileana Olivares Ocegüera, Ideyls Barrios Puentes, Griletsi Hidalgo Rodríguez



The abstract cover for paper 154 features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo on the left and the 'CIP' logo on the right. Below the header, the title 'Indicadores de calidad químicos y sensoriales de la vejiga natatoria de Tenca HG (*Hypophthalmichthys molitrix*)' is displayed in bold black text, followed by its English translation 'Chemical and sensory quality indicators of the swim bladder of Tench HG (*Hypophthalmichthys molitrix*)' in blue. The authors' names are listed below the title. The abstract text describes the study's objective to evaluate quality indicators of the swim bladder of Tench HG through an accelerated deterioration study, detailing the generation of descriptors and the preparation of a descriptive sheet for sensory evaluation of frozen raw bladders. It also mentions the determination of total volatile nitrogenous bases (BNVT) and pH at the start of the study.

**Indicadores de calidad químicos y sensoriales de la vejiga natatoria de Tenca HG (*Hypophthalmichthys molitrix*)**  
**Chemical and sensory quality indicators of the swim bladder of Tench HG (*Hypophthalmichthys molitrix*)**

Ms C. Yeniset Fumero Acosta<sup>1</sup>, Lic. Ileana Olivares Ocegüera<sup>1</sup>, Lic. Ideyls Barrios Puentes<sup>1</sup>, Lic. Griletsi Hidalgo Rodríguez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras. La Habana, Cuba  
E-mail: [yeniset.fumero@cip.alinet.cu](mailto:yeniset.fumero@cip.alinet.cu)

**Abstract:** The swim bladder is a high-value fishing byproduct for the Asian market, mainly due to its protein content. To guarantee its international commercialization in a responsible manner, the objective was set to evaluate the physical-chemical and sensory quality indicators of the swim bladder of Tench HG (*Hypophthalmichthys molitrix*). Through an accelerated deterioration study, the descriptors were generated and the descriptive sheet was prepared for the sensory evaluation of the frozen raw bladder. In the chemical analysis, the content of total volatile nitrogenous bases (BNVT) and pH at the beginning of the study were determined.

## 157 - Extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents (DES) in microwave

Meirielly Jesus, Aloia Romani, Joana Santos, Preciosa Pires, Elia Fernandes, Fernando Mata, Carla Ramos, Manuela Vaz-Velho



The abstract cover for paper 157 features a header with logos for 'XII Firma 2023 online', 'ipvc cisas', 'ipvc estg', 'IACOBUS', and 'fct'. The title 'Extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents (DES) in microwave' is centered in bold black text. Below the title, the authors' names are listed. The abstract text describes the extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents (DES) in a microwave. It mentions the generation of descriptors and the preparation of a descriptive sheet for sensory evaluation of frozen raw bladders. It also mentions the determination of total volatile nitrogenous bases (BNVT) and pH at the start of the study.

**Extraction of bioactive compounds from brown algae using deep eutectic solvents (DES) in microwave**

Meirielly Jesus<sup>1</sup>, Aloia, Romani<sup>1,2</sup>; Joana Santos<sup>1,3</sup>, Preciosa Pires<sup>1,3</sup>; Elia Fernandes<sup>1,3</sup>; Fernando Mata<sup>1</sup>; Carla Ramos<sup>3</sup>; Manuela Vaz-Velho<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>CISAS-Center for Research and Development in Agrifood Systems and Sustainability, Polytechnic Institute of Viana do Castelo, Rua Escola Industrial e Comercial de Nun'Álvares, 4900-347, Viana do Castelo, Portugal  
<sup>2</sup>Chemical Engineering Department, Faculty of Science, University of Vigo, 32004 Ourense, Spain  
<sup>3</sup>ESTG-IPVC - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Rua Escola Industrial e Comercial de Nun'Álvares, 34, 4900-347 Viana do Castelo, Portugal  
E-mail: [meiriellyjesus@ipvc.vi](mailto:meiriellyjesus@ipvc.vi)

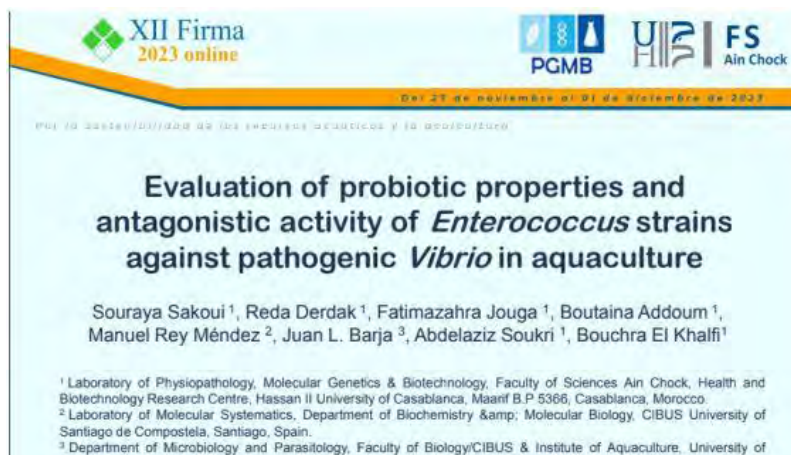
[162 - Biomolecules and their applications for the treatment of diseases caused by resistant bacteria in aquaculture](#)

Fatima Mourabiti, Soukayna Jarjini, Yassine Zouheir, Abdelaziz Soukri, Bouchra El Khalfi



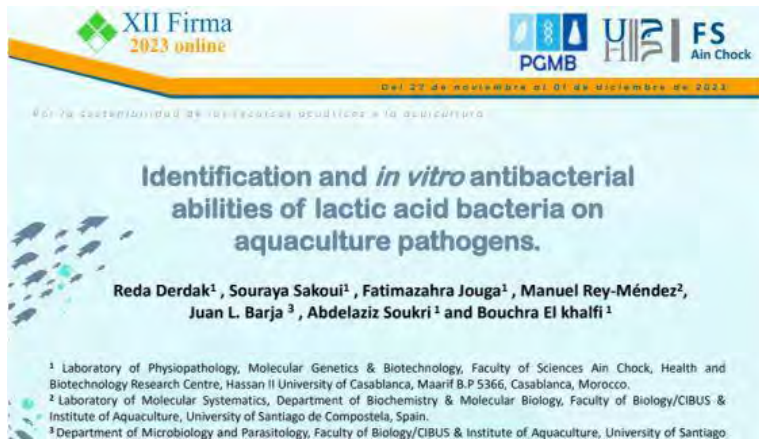
[166 - Evaluation of probiotic properties and antagonistic activity of \*Enterococcus\* strains against pathogenic \*Vibrio\* in aquaculture](#)

Souraya Sakoui, Reda Derdak, Fatimazahra Jouga, Boutaina Addoum, Manuel Rey Méndez, Juan L. Barja, Abdelaziz Soukri, Bouchra El Khalfi



[168 - Identification and \*in vitro\* antibacterial abilities of lactic acid bacteria on aquaculture pathogens](#)

Reda Derdak, Souraya Sakoui, Fatimazahra Jouga, Manuel Rey-Méndez, Juan L. Barja, Abdelaziz Soukri, Bouchra El khalfi



[189 - Evaluación de las interacciones del quitosano y sus mezclas con aceites vegetales usando modelaje molecular y FTIR](#)

Estefany Del Valle Campos Castro, Valentin Brito, Victoria Salazar, Blanca Rojas de Gascue, Juan Jiménez



[208 - Protocolo rápido de detección de toxina pirA/B por PCR y qPCR en \*Vibrio\* spp aislados de camarones de mercados de Veracruz, México](#)

Hectorina Rodulfo Carvajal, Natalia Frías Reid, Julián Guzmán Zavala, Patricio Villaseñor, Luz Díaz Ávila, Francisco Becerril Ángeles, Marcos De Donato

**XII Firma 2023 online** | Tecnológico de Monterrey Escuela de Ingeniería y Ciencias

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

PROCESAMIENTO DE LOS RECURSOS ACUICULTURALES Y AGROPECUARIOS

### Protocolo rápido de detección de toxina pirA/B por PCR y qPCR en *Vibrio* spp aislados de camarones de mercados de Veracruz, México

Hectorina Rodulfo<sup>1</sup>, Natalia Frías Reid<sup>1</sup>, Julián Guzmán Zavala<sup>1</sup>, Patricio Villaseñor<sup>1</sup>, Luz Díaz Ávila<sup>1</sup>, Francisco Becerril Ángeles<sup>1</sup>, Marcos De Donato<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias del Tecnológico de Monterrey, Campus Querétaro. <sup>2</sup>The Center for Aquaculture Technology. E-mail: hrodulfo2002@yahoo.es

**OBJETIVO**

- Proponer un método rápido para detectar toxinas pirA/B en camarones.

**INTRODUCCION**

La vibriosis es un grupo de infecciones intestinales y extraintestinales causadas por bacterias marinas del

[209 - Gene markers of growth in the skeletal muscle of gilthead sea bream \(\*Sparus aurata\*\)](#)

Alberto Sáez Arteaga, Isidoro Metón, Yuanbing Wu, Jonás Silva, Ania Rashidpour, María Pilar Almajano, Felipe Fernandez, Isabel V. Baanante

**XII Firma 2023 online** | UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO | UNIVERSITAT DE BARCELONA

DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023

PROCESAMIENTO DE LOS RECURSOS ACUICULTURALES Y AGROPECUARIOS

### Gene markers of growth in the skeletal muscle of gilthead sea bream (*Sparus aurata*)

Alberto Sáez-Arteaga<sup>1</sup>, Yuanbing Wu<sup>2</sup>, Jonás I. Silva-Marrero<sup>2</sup>, Ania Rashidpour<sup>2</sup>, María Pilar Almajano<sup>3</sup>, Isabel V. Baanante<sup>2</sup>, Felipe Fernandez<sup>2</sup>, Isidoro Metón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación, Innovación y Creación (CIC-UCT). Departamento de Ciencias Agropecuarias y Acuícolas, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, Chile.  
<sup>2</sup>Secció de Bioquímica i Biologia Molecular, Departament de Bioquímica i Fisiologia, Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació, Universitat de Barcelona, Joan XXIII 27-31, 08028 Barcelona, Spain  
<sup>3</sup>Departament d'Enginyeria Química, Universitat Politècnica de Catalunya, Diagonal 647, 08028 Barcelona, Spain  
<sup>4</sup>Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, Diagonal 645, 08028 Barcelona, Spain.  
E-mail: Alberto.saez@uct.cl

**Introduction**

White skeletal muscle contributes to 40-60% of fish body mass. The process of myogenesis is controlled by myogenic regulatory factors (MRFs) [1] and shows different plasticity, which is

## 211 - Formulación Innovadora de Alimento para Tilapia: Evaluación de Efectividad y Beneficios Sostenibles en la Acuicultura

C. Castaños, A. N. Zanazzi, C. Fernández, A. Asiain, P. Waldman, P. Quinteros

The poster features a header with logos for XII Firma 2023 online, UTNMDP, LACUI, GIDTAP-UTN, and UTN FRCH. Below the logos, the title 'Formulación Innovadora de Alimento para Tilapia: Evaluación de Efectividad y Beneficios Sostenibles en la Acuicultura' is prominently displayed. The authors' names, Castaños C., Zanazzi A. N., Fernández C., Asiain A., Waldman P., and Quinteros P., are listed below the title. The affiliations of the authors are provided, including Universidad Tecnológica Nacional (UTN) and Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA). The poster also includes an email address and a section titled 'INTRODUCCIÓN'.

**XII Firma 2023 online** UTNMDP LACUI GIDTAP-UTN UTN FRCH

**Formulación Innovadora de Alimento para Tilapia:  
Evaluación de Efectividad y Beneficios  
Sostenibles en la Acuicultura**

Castaños C.<sup>1</sup>, Zanazzi A. N.<sup>2</sup>, Fernández C.<sup>1</sup>, Asiain A.<sup>2</sup>, Waldman P.<sup>2</sup>, Quinteros P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Chubut (FRCH), Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura y Pesca (GIDTAP-UTN), Argentina  
<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Mar del Plata, Laboratorio de Acuicultura (LACUI-UTN), Argentina

E-mail: ceciliaj@frch.utn.edu.ar

**INTRODUCCIÓN**

## 213 - Las macroalgas como ingredientes potenciales para la alimentación de especies acuícolas

Jesús Morales Ventura

The poster features a header with logos for XII Firma 2023 online and INAPESCA. Below the logos, the title 'LAS MACROALGAS COMO INGREDIENTES POTENCIALES PARA LA ALIMENTACIÓN DE ESPECIES ACUÍCOLAS' is prominently displayed. The author's name, Jesús Morales Ventura, is listed below the title. The affiliation of the author is provided, including Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA). The poster also includes an email address and a section titled 'INTRODUCCIÓN'.

**XII Firma 2023 online** INAPESCA

**LAS MACROALGAS COMO INGREDIENTES  
POTENCIALES PARA LA ALIMENTACIÓN  
DE ESPECIES ACUÍCOLAS**

Jesús Morales Ventura,<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura  
E-mail: [jesus.mventura@inapesca.gob.mx](mailto:jesus.mventura@inapesca.gob.mx)

Palabras clave: Macroalgas, Alimentos acuicultura, Ingrediente alternativos.

**INTRODUCCION**

[215 - Avances en el empleo de biofertilizantes macroalgales en el crecimiento de Zea mays en el Perú](#)

Randu Tarrillo Vargas, Paul Martin Baltazar Guerrero, Juan Carlos Francia Quiroz

The image shows the cover of a presentation for the XII Firma 2023 online event. At the top left is the logo for XII Firma 2023 online. To the right is the logo for LICMA (Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos) at the Universidad Científica del Sur. Below these logos, the text reads 'DEL 29 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE DE 2022'. The main title of the presentation is 'AVANCES EN EL EMPLEO DE BIOFERTILIZANTES MACROALGALES EN EL CRECIMIENTO DE Zea mays EN EL PERÚ'. Below the title, the authors are listed as 'Tarrillo R<sup>1</sup>, Baltazar P<sup>2</sup>, Francia - Quiroz J.C.<sup>1</sup>'. There are three footnotes: <sup>1</sup>Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú; <sup>2</sup>Grupo de Investigación de Acuicultura Sostenible (GIAS), Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA), Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú; and <sup>3</sup>E-mail: pbaltazar@cientifica.edu.pe. At the bottom, there is a yellow banner with the word 'INTRODUCCIÓN' in white capital letters.

[216 - Uso de plantas medicinales y probióticos para la acuicultura sostenible](#)

Ana Claudia Sánchez Ortiz, Rafael Franco Sapién, Ángel Isidro Campa Córdova, José Manuel Mazón Suástegui

The image shows the cover of a presentation for the XII Firma 2023 online event. At the top left is the logo for XII Firma 2023 online. To the right are logos for CUCEI (Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías), ITRANS (Instituto Transdisciplinario de Investigación y Servicios), and CIB (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste). Below these logos, the text reads 'DEL 27 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE DE 2022'. The main title of the presentation is 'USO DE PLANTAS MEDICINALES Y PROBIÓTICOS PARA LA ACUICULTURA SOSTENIBLE'. Below the title, the authors are listed as 'Ana Claudia Sánchez-Ortiz<sup>1</sup>, Rafael Franco-Sapién<sup>2</sup>, Ángel Isidro Campa-Córdova<sup>3</sup>, José Manuel Mazón-Suástegui<sup>3</sup>'. There are three footnotes: <sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías CUCEI, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México; <sup>2</sup>Instituto Transdisciplinario de Investigación y Servicios (ITRANS), Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México; and <sup>3</sup>Programa de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.I., La Paz, Baja California Sur, México.





# Videos





205 - Amplitud de ámbito de distribución geográfica de la especie no nativa *Neopomacentrus cyanomos* (Ovalentaria-Pomacentridae) en Venezuela

Ángel Rafael Fariña Pestano, Jemimah Rivera, Pedro Rodríguez, Asdrúbal Rodríguez, Iván Tomé

The image shows the cover of a scientific paper. At the top, it features the logo for 'XII Firma 2023 online' and the date 'DEL 21 AL 28 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023'. Logos for the 'Gobierno Bolivariano de Venezuela', 'CENIPA', 'INPARQUES', and 'Skull Diver' are also present. The title of the paper is prominently displayed in white text on a dark background. Below the title, the authors' names are listed. A list of footnotes provides affiliations for each author. The word 'INTRODUCCIÓN' is written in large, bold, white letters at the bottom of the cover. A short introductory sentence is at the very bottom.

**Amplitud de ámbito de distribución geográfica de la especie no nativa *Neopomacentrus cyanomos* (Ovalentaria-Pomacentridae) en Venezuela**

Ángel Rafael Fariña Pestano<sup>1</sup>, Jemimah Rivera<sup>2</sup>, Pedro Rodríguez<sup>3</sup>, Asdrúbal Rodríguez<sup>4</sup> e Iván Tomé<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Universidad de Oriente y Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura (CENIPA), Venezuela.  
<sup>2</sup>Instituto Nacional de Parques (INPARQUES) y Postgrado en Ciencias Marinas, Instituto Oceanográfico de Venezuela.  
<sup>3</sup>Departamento de Acuicultura de la ECAM, UDO y Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura (CENIPA), Venezuela.  
<sup>4</sup>Skull Diver Center, Escuela de buceo, Nueva Esparta, Venezuela.  
E-mail: afarina46@yahoo.com

**INTRODUCCIÓN**

Una invasión relativamente reciente y de la que aún persisten un conjunto de interrogantes, es el caso

206 - Resultados preliminares del contenido de microplásticos encontrados en la ostra comercial *Isognomon alatus* de La Gina de Miches, República Dominicana

Angela Guzmán, Francisco Payano, Bladimir Gómez, Lolymar Romero

The image shows the cover of a scientific paper. At the top, it features the logo for 'XII Firma 2023 online' and the date 'DEL 21 DE NOVIEMBRE AL 01 DE DICIEMBRE DE 2023'. Logos for 'INSTITUTO SUPERIOR DE FORMACIÓN DOCENTE SIGUNE LUISA BUCARU' and 'Skull Diver' are also present. The title of the paper is prominently displayed in white text on a dark background. Below the title, the authors' names are listed. The word 'INTRODUCCIÓN' is written in large, bold, white letters at the bottom of the cover. A short introductory sentence is at the very bottom.

**Resultados preliminares del contenido de microplásticos encontrados en la ostra comercial *Isognomon alatus* de La Gina de Miches, República Dominicana.**

Angela Guzmán, Payano Francisco, Bladimir Gómez y Lolymar Romero

202110335@issu.edu.do

**INTRODUCCIÓN**

Una invasión relativamente reciente y de la que aún persisten un conjunto de interrogantes, es el caso

143 - Caracterización de las actividades productivas de la Sociedad Cooperativa "Pescadores de Gómez Farías"

Aurora Berenice Gutiérrez Cedillo, J. Guadalupe Michel Parra, Oziel Dante Montañez Valdez



185 - Interacción para la formación en sustentabilidad de los recursos acuícolas con la comunidad pesquera de Punta Capitán Chico, Estrecho del Lago de Maracaibo, Venezuela

Néstor Pereira, Leyda González , Nayadex Tello, Adrián Sánchez



196 - Realidad del sector pesquero del municipio San Francisco, estado Zulia, Venezuela

Nancy Hernández, Randi Guerrero-Ríos, Yaritza Bracho, Edixo León, Royner Carrasquero

The slide features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo and several institutional logos including 'Gerencia Desarrollo Económico', the Venezuelan coat of arms, and 'akehe'. Below the header, the title 'Realidad del sector pesquero del municipio San Francisco, estado Zulia, Venezuela.' is prominently displayed. The authors listed are Hernández de Guerrero, H., Bracho, Y., León, E., Carrasquero, R., and Guerrero-Ríos, R. The slide also includes an illustration of a person fishing and a small video inset of a woman in the bottom right corner.

201 - Estimación de edad y modelación de crecimiento del caracol marino *Hexaplex princeps* de la pesca artesanal en Puerto Ángel Oaxaca, México

Brandon Saul Magaña Morales, Verónica Mitsui Saito Quezada, Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte

The slide features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo and a small video inset of a man in the top right corner. The main text identifies the authors as Magaña Morales Brandon Saul, with co-authors Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte and Dra. Verónica Mitsui Saito Quezada. The title of the presentation is 'Estimación de edad y modelación de crecimiento del caracol marino *Hexaplex princeps* de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca.' The slide also lists the affiliation: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera.

[207 - Abundancia y distribución de la medusa bola de cañón en tabasco y su potencial aprovechamiento pesquero](#)

José Armando Carrillo Birkhahn, Ana Gabriela Díaz Álvarez, Raúl Enrique Lara Mendoza

The image shows the cover of a scientific paper. At the top, there are logos for 'XII Firma 2023 online', 'AGRICULTURA', and 'INAPESCA'. The title is 'ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA MEDUSA BOLA DE CAÑÓN EN TABASCO Y SU POTENCIAL APROVECHAMIENTO PESQUERO'. Below the title, the authors are listed: José Armando Carrillo Birkhahn, Ana Gabriel Díaz Álvarez, and Raúl Enrique Lara Mendoza. The affiliation is 'Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Centro Regional de Investigaciones Acuícolas y Pesqueras de Ciudad del Carmen, Dirección de Investigación Pesquera en el Atlántico'. The email address is 'E - mail: jose.carrillo@inapesca.gob.mx'. There is a circular portrait of a man on the right side.

[32 - Capturas mitocondriales en los cánceres transmisibles del berberecho \*Cerastoderma edule\* \(Bivalvia\).](#)

Alicia L. Bruzos

The image shows the cover of a scientific paper. At the top, there are logos for 'XII Firma 2023 online', 'UNIGEN', 'USC', 'Ministerio de Ciencia e Innovación', 'erc', and 'European Research Council'. The title is 'Capturas mitocondriales en los cánceres transmisibles del berberecho común.'. Below the title, the author is listed: Alicia L. Bruzos, PhD. The dates are '27 noviembre - 1 diciembre 2023'. The background features a DNA double helix and a bivalve shell.

116 - Estudio del índice gonadosomático y factor de condición en estrellas de mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México

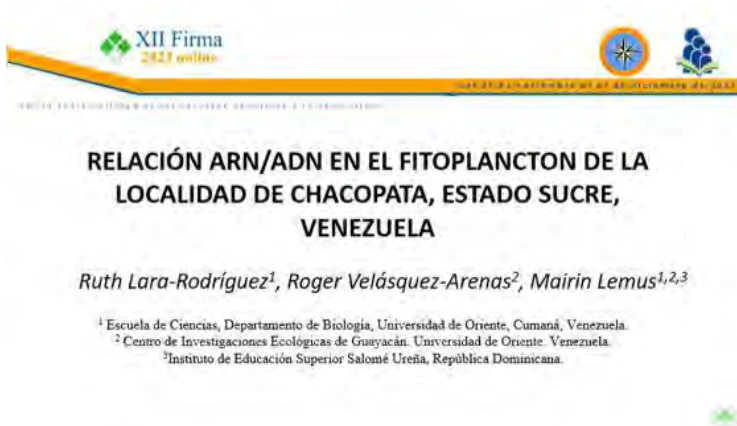
Tania Abigail Martínez Ángeles, Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte, Verónica Mitsui Saito Quezada



The poster features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo and several institutional logos. The title is 'Estudio del índice gonadosomático y factor de condición en estrellas de mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México'. The authors listed are Tania Abigail Martínez-Angeles\*, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte, and Verónica Mitsui Saito-Quezada. The affiliation is the Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. An email address is provided: (\*).E-mail: [taniamartinez922@gmail.com](mailto:taniamartinez922@gmail.com). A small portrait of a woman is included on the right side of the poster.

190 - Relación ARN/ADN en el fitoplancton de la localidad de Chacopata, estado Sucre, Venezuela

Ruth Lara-Rodríguez, Roger Velásquez-Arenas, Mairin Lemus



The poster features a header with the 'XII Firma 2023 online' logo and several institutional logos. The title is 'RELACIÓN ARN/ADN EN EL FITOPLANCTON DE LA LOCALIDAD DE CHACOPATA, ESTADO SUCRE, VENEZUELA'. The authors listed are Ruth Lara-Rodríguez<sup>1</sup>, Roger Velásquez-Arenas<sup>2</sup>, and Mairin Lemus<sup>1,2,3</sup>. The footnotes provide the following affiliations: <sup>1</sup> Escuela de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela; <sup>2</sup> Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayacán, Universidad de Oriente, Venezuela; <sup>3</sup> Instituto de Educación Superior Salomé Ureña, República Dominicana.

[34 - Las microalgas como alimentos funcionales para larvas de lubina](#)  
Fernando Méndez Vivancos, Marta Arizcun Arizcun, Elena Chaves Pozo, Alberto Cuesta Peñafiel, Rosa León



**XII Firma 2023 online**

**CSIC**

**Las microalgas como alimentos funcionales para larvas de lubina**

Fernando Méndez-Vivancos, Marta Arizcun, Alberto Cuesta, Rosa León, Elena Chaves-Pozo



[204 - Cultivo de Tilapia \(Maternidad - Engorda\) en tres niveles tróficos de Biofloc](#)  
Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo, Francisco Javier Magallón Barajas, Alfonso N. Maeda Martínez, Rodolfo Garza Torres



**XII Firma 2023 online**

**CONAHCYT**

**UNCIBNOR+**

**CB**

Del 27 de Noviembre al 01 de Diciembre de 2023

**CULTIVO DE TILAPIA (MATERNIDAD – ENGORDA) EN TRES NIVELES TRÓFICOS DE BIOFLOC**

**TILAPIA FARMING (PRE-FATTENING AND FATTENING) IN THREE BIOFLOC TROPHIC STAGES**

**Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo<sup>1</sup>,  
Magallón Barajas F.J.<sup>2</sup>, Maeda Martínez, A.N.<sup>2</sup> Garza Torres, R.<sup>1</sup>**

Correo: yefimbres@gmail.com

1. Unidad Nayurit Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR)  
2. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)

27 de Noviembre del 2023



[61 - Transferencia tecnológica para cultivos marino en la pesca artesanal del norte de Chile](#)

Cristian Sepúlveda, Héctor Basaure, Felipe Rivera, Lorena Vega



[35 - El péptido antimicrobiano hepcidina induce inmunomodulación en lubina y previene parcialmente la mortalidad por nodavirus](#)

Laura Cervera, Elena Chaves-Pozo, Alberto Cuesta

The image is a screenshot of a presentation slide. At the top, there is a banner with logos for 'XII Firma 2023 online', 'CSIC', and 'UNIVERSIDAD DE MURCIA'. To the right of the banner is a small video feed showing a person speaking. Below the banner, the main title of the slide is displayed in a purple rounded rectangle: 'El péptido antimicrobiano hepcidina induce inmunomodulación en lubina y previene parcialmente la mortalidad por nodavirus'. At the bottom of the slide, the authors are listed: 'Laura Cervera<sup>1,2</sup>, Elena Chaves-Pozo<sup>2</sup>, Alberto Cuesta<sup>1</sup>'. Below the names are footnotes: <sup>1</sup>Grupo Immunobiología para la Acuicultura, Departamento de Biología Celular e Histología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia, 30100, Murcia, España; <sup>2</sup>Centro Oceanográfico de Murcia, Instituto Español de Oceanografía (COMU-IEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Carretera de la Azahía s/n, Puerto de Mazarrón, 30860, Murcia, España; and the email address 'E-mail: laura.cervera@um.es'.

85 - Evaluación fisicoquímica de ceviche de piangua (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*) elaborado en Tumaco, Colombia

Jairo Humberto López Vargas, Adriana Patricia Muñoz Ramírez, María Alejandra Montenegro Cuesta

**EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA DE CEVICHE DE PIANGUA (*Anadara tuberculosa* / *Anadara similis*) ELABORADO EN TUMACO, COLOMBIA.**

**JAIRO H. LÓPEZ VARGAS <sup>1\*</sup>, MARIA A. MONTENEGRO CUESTA <sup>1</sup>,  
ADRIANA P. MUÑOZ RAMÍREZ <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA, **Grupo de Investigación Aseguramiento de la Calidad de los Alimentos y Desarrollo de Nuevos Productos** - Ac. 26 #40-85, edificio 500 C, Bogotá, Código Postal 111321 - Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, **Grupo de Investigación UN-ACUICTIO**, Carrera 30 Calle 45-03, Edificio 481, Bogotá, Código Postal 111321, Colombia

\*E-mail: [jlopezy@unal.edu.co](mailto:jlopezy@unal.edu.co)

90 - Evaluación microbiológica de ceviche de piangua (*Anadara tuberculosa* / *Anadara similis*) elaborado en Tumaco, Colombia

Jairo Humberto López Vargas, Laura Valentina Cuevas Peña, Adriana Patricia Muñoz Ramírez

**EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DE CEVICHE DE PIANGUA (*Anadara tuberculosa* / *Anadara similis*) ELABORADO EN TUMACO, COLOMBIA.**

**JAIRO H. LÓPEZ VARGAS <sup>1\*</sup>, LAURA V. CUEVAS PEÑA<sup>2</sup>, ADRIANA P. MUÑOZ RAMÍREZ <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA, **Grupo de Investigación Aseguramiento de la Calidad de los Alimentos y Desarrollo de Nuevos Productos** - Ac. 26 #40-85, edificio 500 C, Bogotá, Código Postal 111321 - Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, **Grupo de Investigación UN-ACUICTIO**, Carrera 30 Calle 45-03, Edificio 481, Bogotá, Código Postal 111321, Colombia

\*E-mail: [jlopezv@unal.edu.co](mailto:jlopezv@unal.edu.co)



109 - Caracterización de bacteriófagos contra bacterias del género *Vibrio* causantes de mortalidades en estanques de camarón

Kively Yajaira Lozano Torres, Roberto Bastías Romo, Eduardo Quiroz Guzmán

**XII Firma 2023 online**

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS-ICTA

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA

**Caracterización de bacteriófagos que infectan bacterias del género *Vibrio* causantes de mortalidades en camarones.**

**Kively Lozano** <sup>1</sup>, Roberto Bastías <sup>1</sup>, Eduardo Quiroz <sup>2</sup>.

(1) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Laboratorio de Microbiología, Instituto de Biología, Curauama-Valparaíso, Chile.

(2) CONACYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

137 - Aceptación sensorial de nugget de plumuda (*Opisthonema spp*) y carduma (*Cetengraulis mysticetus*) en población infantil en edad escolar en Tumaco, Colombia

Jairo Humberto López Vargas, Adriana Patricia Muñoz Ramírez, Andrea Paola Rodríguez Triviño

**XII Firma 2023 online**

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS-ICTA

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA

**ACEPTACIÓN SENSORIAL DE NUGGET DE PLUMUDA (*Opisthonema spp*) Y CARDUMA (*Cetengraulis mysticetus*) EN POBLACIÓN INFANTIL EN EDAD ESCOLAR EN TUMACO, COLOMBIA.**

**JAIRO H. LÓPEZ VARGAS** <sup>1\*</sup>, **ANDREA P. RODRIGUEZ TRIVIÑO** <sup>2</sup>, **ADRIANA P. MUÑOZ RAMÍREZ** <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA, Grupo de Investigación Aseguramiento de la Calidad de los Alimentos y Desarrollo de Nuevos Productos - Ac. 26 #40-85, edificio 500 C, Bogotá, Código Postal 111321 - Colombia.

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas-Faculdade de Engenharia de Alimentos-DTA. Rua Monteiro Lobato, 80. Barao Geraldo, Campinas, SP, Brasil. CEP: 13083-862,

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Grupo de Investigación UN-ACUICITIO, Carrera 30 Calle 45-03, Edificio 481, Bogotá, Código Postal 111321, Colombia

\*E-mail: [jllopezv@unal.edu.co](mailto:jllopezv@unal.edu.co)

152 - Aplicación de la Inteligencia Artificial para la alimentación de Camarones  
Jaime Paz



198 - Del mar al campo agrícola: efecto del alga *Ulva ohnoi* en la productividad y calidad de los frutos de tomate  
Adrián Alejandro Espinosa Antón, Rosalba Mireya Hernández Herrera



199 - Transformación genética de *Chlamydomonas reinhardtii* para su uso contra el Herpes de Ostreidos tipo 1 en el ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*  
Carolina Gallardo Ybarra, Enrique De la re Vega, José Arturo Sánchez Paz, José Manuel Grijalva Chon, Christian Minjarez Osorio, Rosa León Bañares



The slide features a green and white background with a map of the Pacific Ocean. In the top left corner is the logo of the Universidad de Sonora with the motto "El saber de mis hijos hara mi grandeza". In the top right corner, it says "2023 online" next to a green diamond logo. The main text is centered and reads: "Transformación genética de *Chlamydomonas reinhardtii* para su uso contra el Herpes de Ostreidos tipo 1 en el ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*". Below the title, the presenter's name "M. C. Carolina Gallardo Ybarra" is listed. A small circular video feed of the presenter is visible in the bottom right corner. A small number "1" is in the bottom left corner.

52 - Optimización de la alimentación de la tilapia del Nilo con una herramienta de modelado  
Luis Conceição, Filipe Soares, Paulo Rema, Tomé Silva, Ana Nobre



The slide has a white background with a yellow and blue header. The header includes the "XII Firma 2023 online" logo on the left and the "sparos" and "utad" logos on the right. Below the header, the title "Optimización de la alimentación de la tilapia del Nilo con una herramienta de modelado" is centered. Below the title, the names of the presenters are listed: "Filipe Soares", "Paulo Rema", "Tomé Silva", and "Ana Nobre" on the left; and "Luís Conceição" with the email "luisconceicao@sparos.pt" on the right. A small circular video feed of the presenter is visible in the bottom right corner. A small green circular logo is in the bottom right corner.

60 - ficoEst: una herramienta para estimar la composición corporal de los peces de cultivo

Filipe Soares, Andreia Raposo, Rodrigo Mendes, Marina Azevedo, Jorge Dias, Ana Nobre, Luis E.C. Conceição, Tomé Silva

The slide features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left and the 'sparos' logo at the top right. A date '01/27 de novembro de 21 de dezembro de 2022' is visible in the top right corner. The main content area has a dark blue background with a laptop displaying a software interface. The text 'ficoEst' is prominently displayed, followed by the subtitle 'a tool to estimate the body composition of farmed fish'. Below this, the presenter's name 'Tatiana V. Poletto' and the organization 'Sparos Lda.' with the website 'www.sparos.lda' are listed. On the right side, a list of names is provided: Filipe Soares, Andreia Raposo, Rodrigo Mendes, Marina Azevedo, Jorge Dias, Ana Nobre, Luis Conceicao, and Tomé Silva. A small video feed of a woman is visible in the bottom right corner.

161 - Análisis del desempeño de crecimiento de juveniles de *Litopenaeus vannamei* en cultivos de biofloc bajo diferentes regímenes alimenticios

Alan Eduardo García Hernández, Miryam Castro López, Juan Pablo Alcántar Vázquez, Jorge Vladimir Álvarez Montoya, Raúl Claro De Los Santos, André Luiz Braga De Souza

The slide features the 'XII Firma 2023 online' logo at the top left and several institutional logos at the top right. A date '01/27 de novembro de 2022' is visible in the top right corner. The main title is '“Análisis del Desempeño de crecimiento de Juveniles de *Litopenaeus vannamei* en Cultivos de Biofloc bajo Diferentes Regímenes Alimenticios.”'. Below the title, the authors' names are listed: Alan Eduardo García Hernández<sup>1</sup>, Miryam Castro Lopez<sup>2</sup>, Juan Pablo Alcántar Vázquez<sup>2</sup>, Jorge Vladimir Álvarez Montoya<sup>3</sup>, Raúl Claro De Los Santos<sup>4</sup>, and André Luiz Braga de Souza<sup>1</sup>. The affiliations are: <sup>1</sup>Facultad de Ciencias Marinas; Universidad Autónoma de Baja California. <sup>2</sup>Laboratorio de Acuicultura, Universidad del Papaloapan. <sup>3</sup>Laboratorio de Producción de Camarón, Instituto de Investigaciones Oceanológicas; Universidad Autónoma de Baja California. The email address 'E-mail: andre.braga@uabc.edu.mx; canaron.uabc@gmail.com' is provided at the bottom. A small video feed of a man is visible in the bottom right corner.

182 - Efecto de la ración alimenticia en la sobrevivencia de juveniles del camarón blanco del pacífico (*Litopenaeus vannamei*) cultivados en un sistema de biofloc posterior a un período de hipoxia

Jorge Vladimir Álvarez Montoya, Raúl Claro de los Santos, Myriam Castro López, Juan Pablo Alcántar Vázquez, André Luiz Braga de Souza

XII Firma 2023 online

UNPA - Universidad de Papaloapan

DES - Universidad de Ciencias Agropecuarias

UABC - Universidad Autónoma de Baja California

“Efecto de la ración alimenticia en la sobrevivencia de juveniles del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) cultivados en un sistema de biofloc posterior a un período de hipoxia”

Jorge Vladimir Álvarez-Montoya<sup>1,3</sup>, Raúl Claro de los Santos<sup>1,3</sup>, Myriam Castro-López<sup>2</sup>, Juan Pablo Alcántar-Vázquez<sup>2</sup>, André Luiz Braga de Souza<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Producción de Camarón; Instituto de Investigaciones Oceanológicas; Universidad Autónoma de Baja California

<sup>2</sup> Laboratorio de Acuicultura, DES; Ciencias Agropecuarias, Universidad de Papaloapan (UNPA)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Marinas; Universidad Autónoma de Baja California (UABC)

E-mail: andre.braga@uabc.edu.mx; camaron.uabc@gmail.com



200 - Efecto del estrés crónico por alcalinidad CaCO<sub>3</sub> sobre el desempeño de crecimiento del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*

Raúl Claro De Los Santos, Dayanna Andrea Vera Delgado, Ernesto Ariel Ayala Rubio, Lol-Be Sarela Polanco Ovalles, André Luiz Braga De Souza

XII Firma 2023 online

UNPA - Universidad de Papaloapan

DES - Universidad de Ciencias Agropecuarias

UABC - Universidad Autónoma de Baja California

“Efecto del estrés crónico por alcalinidad CaCO<sub>3</sub> sobre el desempeño de crecimiento del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*.”

Raúl Claro De Los Santos<sup>1</sup>, Dayanna Vera Delgado<sup>1</sup>, Ernesto Ariel Ayala Rubio<sup>2</sup>, Lol-Be Sarela Polanco Ovalles<sup>2</sup>, André Luiz Braga de Souza<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Laboratorio de Producción de Camarón; Instituto de Investigaciones Oceanológicas; Universidad Autónoma de Baja California.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Marinas; Universidad Autónoma de Baja California.

E-mail: andre.braga@uabc.edu.mx; camaron.uabc@gmail.com

219 - Asociación de la prevalencia de parásitos apicomplexa con la abundancia de la materia orgánica en un cultivo semiintensivo de *Litopenaeus vannamei*, al noroccidente del Lago de Maracaibo

Ana Gabriela Méndez Manzanillo, Randi Guerrero Rios, Yenileth Finol

