Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica
Licenciatura en Ciencias del Ambiente
Tesis de Grado

“Evaluación de las poblaciones de *Bovichtus argentinus* en el intermareal rocoso de la Patagonia: Un enfoque morfométrico para el manejo"

Autora: Ariana Lang
Director: Lic. Santiago Morawicki
Co-director: Dr. Patricio Solimano
2025

Agradecimientos

Llegar al final de esta etapa académica ha sido un camino de aprendizaje, esfuerzo y crecimiento constante, en el que he contado con el apoyo de muchas personas que de una u otra manera, contribuyeron a que este trabajo fuera posible. Su apoyo, guía y compañía fueron fundamentales en este camino, por ello quiero agradecer:

En primer lugar agradezco profundamente a mi director y codirector, por la paciencia de todos los días, por su acompañamiento, por todo lo que aprendí a su lado durante todo este proceso y por brindarme siempre su apoyo para obtener hoy el título de grado. En especial, le agradezco a Pato por iniciarme en el campo de la investigación, por darme libertad de trabajo y su confianza. Gracias por la continua motivación a estar siempre en constante superación, por alentarme hacia nuevos desafíos, por darme la posibilidad de participar en campañas y hacer posibles los viajes para terminar esta tesis.

También deseo reconocer a las instituciones que han contribuido a mi formación académica y al desarrollo de esta investigación. A la Universidad Nacional de Río Negro, gracias por ofrecerme una educación universitaria pública y gratuita de calidad, sobre todo por permitirme el uso de sus instalaciones y equipamiento. Agradezco, además, el apoyo económico del Consejo Interuniversitario Nacional, a través de la Beca CIN, y a la financiación de los proyectos PI 40-C-790 y PI 40-C-1060, que hicieron posible la realización de las campañas de muestreo.

Mi agradecimiento se extiende a Nicolás Ostoich, por recibirme en su laboratorio y por la gentileza de brindarme los datos aún sin el procesamiento final para utilizarlos en esta tesis.

A mis compañeros de laboratorio por darme el lugar y acompañarme en este trabajo, por hacerme parte, por hacer los días en el laboratorio y las campañas más divertidas, y sobre todo por aconsejarme y alentarme siempre.

A mis amigos, quienes han estado en este camino en distintos momentos, pero todos con la misma importancia. Gracias por acompañarme en los buenos y malos momentos, por sus palabras de aliento, por celebrar mis logros, por los retos cuando los necesité, por escucharme en mis días de frustración y alegría, y por su paciencia

infinita en este último tiempo. Gracias por soportar mis ausencias y estrés, y por estar ahí cuando más los necesité.

A todos los que una vez me acompañaron en mis salidas a campo (con sol, frío y mal clima), infinitas gracias porque sola no podría haberlo hecho, su ayuda fue fundamental para obtener los datos y porque además la biología no vale de nada si no hay con quien compartirla.

A mi familia por estar cerca. Por acompañarme durante todos los años de estudios, apoyarme en mis decisiones y disfrutar mis logros.

Finalmente, agradezco de manera especial a los miembros del jurado por su gran ayuda, por los valiosos comentarios y sugerencias que han contribuido a mejorar este trabajo. Mi agradecimiento a los doctores Andrea Tombari, Alejo Irigoyen y Mariano Soricetti, por el conocimiento compartido, por el tiempo dedicado y disponibilidad para que todo pueda darse.

A todos ustedes, por todo el apoyo y el cariño recibido, gracias!!

Resumen

El estudio de las poblaciones de peces es fundamental para comprender sus respuestas a presiones ambientales, para la conservación de especies y la gestión sostenible de los ecosistemas marinos. *Bovichtus argentinus* es una especie bentónica poco estudiada que habita el intermareal rocoso del mar Argentino, con una distribución que abarca desde Mar del Plata hasta Tierra del Fuego. Su estructura poblacional y conectividad a lo largo de la costa patagónica aún no han sido caracterizadas, lo que dificulta su manejo y conservación.

El presente estudio analiza la estructura poblacional de *Bovichtus argentinus* en la costa patagónica argentina mediante la morfometría de otolitos, con el objetivo de identificar posibles diferenciaciones poblacionales a lo largo de un gradiente latitudinal. Se realizaron muestreos en cinco localidades, desde El Espigón (41º S) hasta Comodoro Rivadavia (45º S), capturando 125 individuos en el intermareal bajo con copos de mano. Se extrajeron sus otolitos *sagitta* y se analizaron mediante morfometría clásica y geométrica, utilizando índices de forma, descriptores de Fourier y coeficientes de wavelet. Para evaluar diferencias poblacionales, se aplicaron análisis estadísticos multivariados, incluyendo Análisis Discriminante Lineal (LDA) y PERMANOVA.

Los resultados evidenciaron diferencias morfológicas significativas en los otolitos entre las localidades estudiadas, indicando la posible existencia de al menos dos poblaciones diferenciadas. Una de ellas agrupa a los individuos de El Espigón, Las Grutas, Playas Doradas y Playa Magagna, mientras que la otra corresponde a los peces de Comodoro Rivadavia. Esta diferenciación podría estar relacionada con factores oceanográficos y biogeográficos, como la acción de la Corriente Patagónica, las características físicas de las plataformas de abrasión y la dinámica de las mareas en cada zona. La diferenciación observada resalta la importancia de los otolitos como herramienta en la identificación de stocks y en la gestión de recursos marinos.

Palabras claves: Otolito; Morfometría; Patagonia; Fourier; ShapeR; Stock; Wavelets.

Abstract:

The study of fish populations is essential for understanding their responses to environmental pressures, species conservation, and the sustainable management of marine ecosystems. *Bovichtus argentinus* is a poorly studied benthic species that inhabits the rocky intertidal zone of the Argentine Sea, with a distribution ranging from Mar del Plata to Tierra del Fuego. Its population structure and connectivity along the Patagonian coast have not yet been characterized, which hinders its management and conservation.

This study analyzes the population structure of *Bovichtus argentinus* along the Argentine Patagonian coast through otolith morphometry, aiming to identify possible population differentiations along a latitudinal gradient. Samples were collected from five localities, from El Espigón (41º S) to Comodoro Rivadavia (45º S), capturing 125 individuals from the low intertidal zone using hand seines. Their sagitta otoliths were extracted and analyzed through classical and geometric morphometry, using shape indices, Fourier descriptors, and wavelet coefficients. To assess population differences, multivariate statistical analyses were applied, including Linear Discriminant Analysis (LDA) and PERMANOVA.

The results revealed significant morphological differences in the otoliths between the studied localities, indicating the possible existence of at least two differentiated populations. One of these groups includes individuals from El Espigón, Las Grutas, Playas Doradas, and Playa Magagna, while the other corresponds to fish from Comodoro Rivadavia. This differentiation could be related to oceanographic and biogeographic factors, such as the influence of the Patagonian Current, the physical characteristics of the abrasion platforms, and tidal dynamics in each area. The observed differentiation highlights the importance of otoliths as a tool in identifying stocks and managing marine resources.

Keywords: Otolith; Morphometry; Patagonia; Fourier; ShapeR; Stock; Wavelets.

Índice

Introducción..... 6
Objetivos..... 12
Objetivo general..... 12
Objetivos específicos..... 12
Hipótesis..... 13
Materiales y métodos..... 13
El área de muestreo:..... 13
Muestreo de campo:..... 14
Trabajo de laboratorio:..... 16
Poblacional de Bovichtus argentinus..... 16
Extracción:..... 17
Fotografía:..... 18
Procesamiento de imagen de los otolitos:..... 19
Análisis Multivariado..... 21
Relación de la estructura poblacional con los factores ambientales..... 21
Resultados..... 22
Descripción morfológica del otolito Sagitta..... 22
Características de forma media..... 23
Índices de forma..... 24
Análisis multivariante..... 26
Relación de la estructura poblacional con los factores ambientales..... 32
Discusiones:..... 37
Consideraciones Finales..... 42
Limitaciones del estudio..... 42
Para futuros estudios:..... 42
Conclusiones..... 42
Bibliografía..... 43

Introducción

El estudio de las poblaciones de peces no solo tiene implicaciones para la conservación de las especies individuales, sino también para la sostenibilidad de las pesquerías locales y para la salud general del ecosistema marino (Begg *et al.* 1999; Borja *et al.* 2016). Cambios en estas poblaciones pueden reflejar problemas ambientales como la sobrepesca, la degradación del hábitat, la contaminación o el cambio climático (Whitfield y Elliott, 2002; Arthington *et al.* 2016).

Existen diversos métodos para identificar la estructura poblacional de los peces y diferenciar poblaciones, entre ellos la captura-recaptura, el análisis de parámetros poblacionales, la estructura de tallas, las características morfométricas y merísticas, la identificación genética y la microquímica de los otolitos (Park y Moran, 1994; Volpedo y Cirelli, 2006). En los últimos años, la morfometría de los otolitos, junto con el análisis del contorno y la morfometría geométrica, se ha consolidado como una herramienta eficaz para discriminar poblaciones, identificar áreas de reproducción y determinar rutas migratorias en diversas especies comerciales (Tracey *et al*. 2006; Abaunza *et al*. 2008; Avigliano *et al.* 2014; Biolé *et al.* 2019; De Carvalho *et al*. 2020).

Los otolitos son estructuras calcificadas ubicadas en el oído interno de los peces teleósteos, que funcionan principalmente para la audición y el equilibrio (Popper *et al.* 2005). Son complejos cuerpos policristalinos compuestos principalmente por carbonato de calcio precipitado en forma de aragonita y pequeñas cantidades de otros minerales, inmersos dentro de una matriz orgánica (Carlström, 1963; Gauldie, 1993; Campana, 1999; Tuset *et al*. 2003). Su morfología varía entre individuos y poblaciones en respuesta a factores ambientales y biológicos, lo que ha permitido utilizarlos como una herramienta confiable para la identificación de stocks y la evaluación de la conectividad poblacional (Campana, 1999; Volpedo y Echeverría, 2003; Avigliano *et al*. 2014; Morawicki *et al*. 2022). Su principal ventaja radica en su menor costo en comparación con otro tipo de estudios, manteniendo una alta precisión en la diferenciación poblacional (Avigliano, 2014). Además, pueden combinarse con otros enfoques, como análisis genéticos (Annabi *et al*. 2013) o de microquímica (Avigliano *et al*. 2016), permitiendo una evaluación integral de la estructura y dinámica poblacional (Begg y Waldman, 1999).

La estructura poblacional de una especie puede estar influenciada por múltiples factores, incluyendo variables oceanográficas, biológicas y geográficas. Factores oceanográficos como las corrientes marinas, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y la exposición a las olas pueden afectar la conectividad entre poblaciones (Broitman *et al.* 2008; Tittensor *et al.* 2010). A nivel biológico, la supervivencia de larvas y el reclutamiento de juveniles son procesos determinantes en la distribución de las poblaciones (Orensanz *et al.* 2006). Además, aspectos geográficos como el crecimiento de las poblaciones humanas, la presión pesquera y la cercanía a grandes mercados también influyen en la biomasa y diversidad de las especies (Orensanz *et al.* 1998, 2008; Cinner *et al.* 2016).

La familia Bovichtidae, pertenece al orden perciformes y al Suborden Notothenioidei, posee una gran relevancia evolutiva dentro de los peces de origen antártico, ya que representa el grupo basal del clado de los nototénidos (Lecointre *et al*. 1997).Su composición varía según los autores, en seis o siete especies reconocidas (Bravo et al. 1999; Near et al. 2019). Su distribución es circumantártica (Near *et al*. 2019), con especies presentes en distintas regiones del hemisferio sur: *Bovichtus angustifrons* (Sur de Australia); *Bovichtus variegatus* (Sur de Nueva Zelandia); *Bovichtus psychrolutes* (Pacifico Sur); *Bovichtus chilensis* (Chile y “Argentina”), *Bovichtus diacanthus* (Atlantico Sur); *Bovichtus veneris* (Índico Sur). Cabe destacar que la especie *Bovichtus argentinus* es considerada válida por el Eschmeyer's Catalog of Fishes (https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp), lo que eleva el número total de especies a siete, y por lo tanto habría dos expecies en sudamerica, una en Chile y otra en Argentina.

La familia se caracteriza por sus hábitos crípticos y bentónicos (Pequeño *et al.* 2004), de pequeño tamaño (de 4 a 20 cm de media). La especie más estudiada del género es *Bovichtus diacanthus* (Atlántico Sur), esta especie presenta tallas de primera madurez de 150 mm, con edades de hasta 4 años y $L\infty$ de 206 mm (La Mesa y Eastman, 2012). En relación a la reproducción *Bovichtus diacanthus* es descrito como un reproductor en lotes y el periodo reproductivo va de julio a agosto y su estrategia parece ser similar a la de otros nototenidos (La Mesa y Eastman, 2012). Esta es la especie más cercana a *Bovichtus argentinus* de la que podemos obtener datos ecológicos.

En Argentina, *Bovichtus argentinus*, conocido como "torito" o "vieja", es una especie escasamente estudiada, descrita por primera vez por MacDonagh en 1931.Es un pez bentónico, de comportamiento críptico y hábitos gregarios (Díaz de Astarloa, 2016; Irigoyen *et al.* 2018). Se distribuye por toda la costa Argentina, desde Mar del Plata a Tierra del Fuego, con registros de su presencia en Uruguay (Cousseau *et al.*1998). Es la especie de la familia que alcanza latitudes más bajas. Habita principalmente en la zona intermareal y submareal somera, donde se refugia principalmente en grietas, cuevas y pozas de marea, donde puede adherirse a los techos/paredes de las formaciones rocosas (Irigoyen *et al.* 2018).

Se caracteriza por su piel sin escamas, recubierta por una especie de mucosa (Figura 1) y por la presencia de espinas cefálicas distintivas, que dan aspecto de pequeños cuernos (Irigoyen *et al.* 2018). Su cuerpo es alargado, algo comprimido, tiene una coloración entre tonos verdosos y marrones, con patrones irregulares de colores negros y/o rojizas que le proporcionan camuflaje en los sustratos rocosos (Cousseau *et al*. 2004; Delpiani, 2010; Irigoyen *et al.* 2018), el vientre es de color blanco (Figura 1). Tiene grandes aletas pectorales, pélvicas y dorsales (Irigoyen *et al.* 2018), la aleta caudal es homocerca, convexa (Figura 1). Es una especie pequeña, alcanzando hasta 18 cm de longitud total (Cousseau *et al.* 2004). Se alimenta principalmente de gasterópodos, algunos cangrejos e isópodos (Marcinkevicius *et al.* 2012).

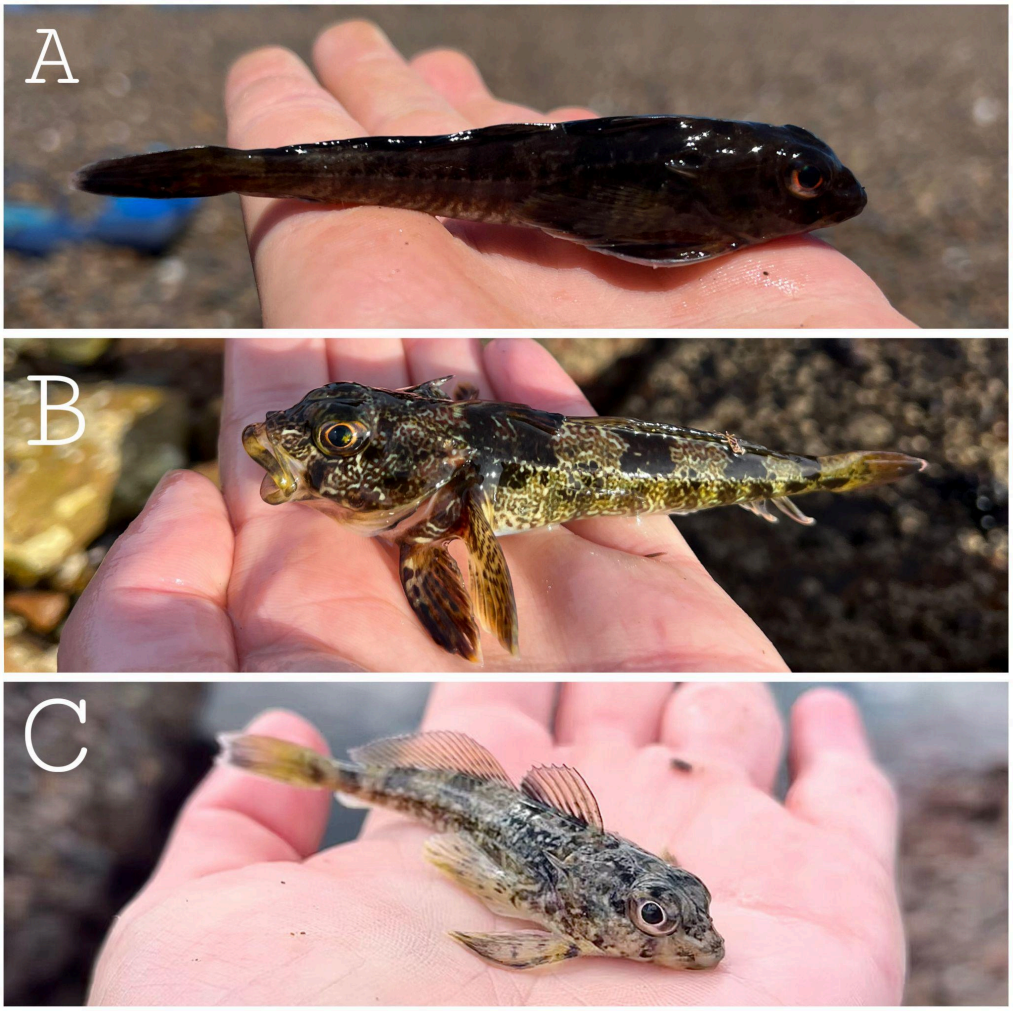

Figura 1. Fotos de *Bovichtus argentinus* **A:** Se observa cómo su piel está recubierta por una especie de mucosa. **B** y **C**: Se visualizan características de cuerpo.

Uno de los factores importantes que podría producir patrones de retención y estructuración poblacional, es la adaptación local (Marshall *et al.* 2010; Savolainen *et al.* 2013). Sería esperable encontrar más señales de adaptación local en especies costeras o bentónicas que en especies pelágicas donde el adulto puede tener mayor capacidad dispersiva (Marshall *et al*. 2010). En organismos marinos con ciclos de vida complejos, la dispersión depende en su mayor parte de la etapa larval pelágica, ya que en el estado adulto la movilidad tiende a ser reducida (Kritzer y Sale, 2004; Johnson *et al*. 2018). Por lo tanto, el transporte y retorno de larvas hacia ambientes donde puedan asentarse es fundamental para la dinámica poblacional y por consecuencia para la conectividad de las poblaciones (Sponaugle *et al.* 2002; Warner y Cowen, 2002).

Es posible que tanto factores ambientales como oceanográficos desempeñen un papel en la organización de las poblaciones de *B. argentinus*, pero hasta el momento no existen estudios específicos que analicen su conectividad a gran escala en el mar Argentino.

En la plataforma continental argentina, la circulación oceánica está dominada por dos grandes corrientes de dirección opuesta: la Corriente de Brasil (CB) y la Corriente de Malvinas (CM)(Garzoli y Garraffo, 1989; Acha *et al*. 2004; Lucas *et al*. 2005) (Figura 2). La CB, de origen tropical, transporta aguas cálidas y salinas hacia el sur, mientras que la CM, una rama de la Corriente Circumpolar Antártica, transporta aguas frías y ricas en nutrientes hacia el norte (Matano *et al.* 1993; Piola y Matano, 2001). Estas corrientes convergen en la Confluencia Brasil-Malvinas (BMC), cerca de los 39°S, creando un importante frente oceanográfico que influye en la distribución de especies marinas.

Además de estas corrientes principales, las aguas de la plataforma continental argentina se originan en las aguas subantárticas que ingresan desde el Pasaje Drake, modificadas por los ríos patagónicos, los canales fueguinos y el estrecho de Magallanes (Brandhorst y Castello, 1971; Piola y Rivas, 1997). Estas aguas forman la Corriente Patagónica (CP), que fluye hacia el noreste y se extiende hasta los 47°S, donde se dispersa hacia la plataforma central (Guerrero y Piola, 1997). Sin embargo, esta corriente tiende a desaparecer cerca del Golfo San Matías, posiblemente debido a la salida de agua desde el golfo (Perillo *et al.* 2004).

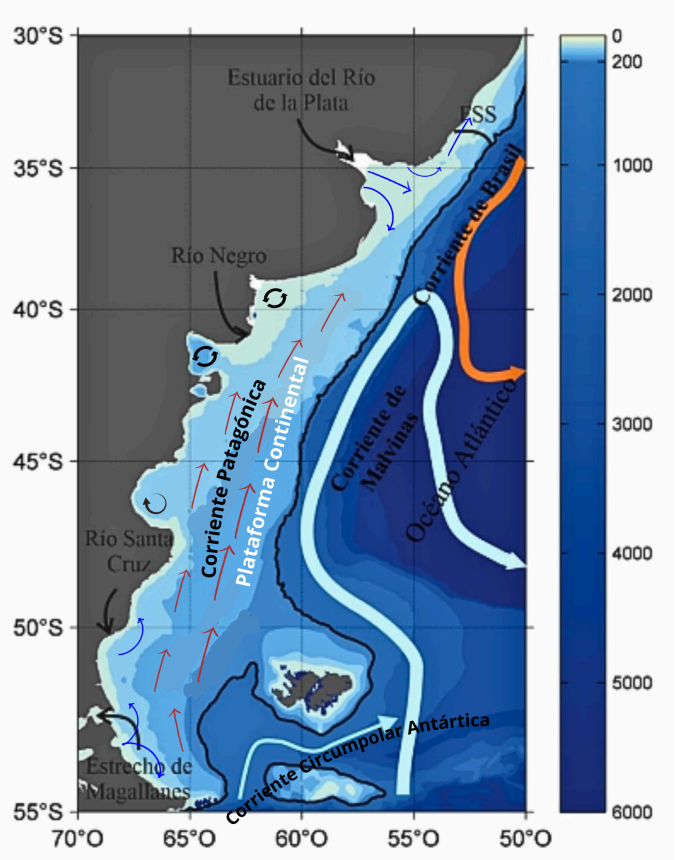

Figura 2. La batimetría (m.) se muestra en colores. Los colores celestes corresponden a la plataforma continental, en tanto que los azules oscuros fueron asignados al océano profundo. El límite entre ambos dominios se encuentra demarcado por la línea sólida negra que representa la isóbata de 200 m. Las flechas naranja y celeste representan la corriente cálida de Brasil y la corriente fría de Malvinas, respectivamente. Sobre la plataforma continental patagónica, las flechas rojas muestran las corrientes superficiales medias de la Corriente Patagónica. Las principales fuentes de descarga de agua dulce en la región se indican con flechas azules, y en negro, las flechas formando un círculo/semi-círculo indican la circulación de los golfos (San Matías y San Jorge) y del Área marina-costera El Rincón. Mapa modificado de Bodnariuk, 2022.

Las zonas costeras del Mar Argentino, son ambientes complejos y dinámicos donde convergen procesos terrestres, oceánicos y atmosféricos (Angulo, 2004; Martinez *et al.* 2007). Sin embargo, enfrentan numerosos retos debido a la intensa ocupación humana y la explotación de los recursos, lo que provoca problemas ambientales y conflictos entre los diferentes sectores sociales (Rodrigues, 2009).

Un ecosistema costero común en las costas del Atlántico Sur es el intermareal rocoso. Estos ambientes en la Patagonia presentan una gran heterogeneidad, con plataformas rocosas que forman pozas de retención de agua y generan microhábitats fundamentales para la ictiofauna. Estos hábitats son esenciales para la conservación, ya que funcionan como refugios para diversas especies y constituyen importantes fuentes de alimento y nutrientes, siendo altamente productivos tanto a nivel espacial como temporal (Moring, 2005).

Las costas intermareales son ambientes ideales para evaluar patrones generales de distribución, debido a que contienen diferentes tipos de hábitat fácilmente accesibles, los cuales están aislados y son ocupados por diferentes grupos de organismos (Montero y Brito, 2019). Estos ambientes son el hábitat común de *B. argentinus.*

Las características de historia de vida de la especie, las particularidades ambientales de los ecosistemas que habita y la oceanografía del mar Argentino hacen que el objetivo de este estudio sea analizar la estructura espacial de las poblaciones de *Bovichtus argentinus* a lo largo de un gradiente latitudinal mediante el uso de la morfometría de otolitos. A partir de estos datos, se busca comprender los procesos que configuran las poblaciones de peces en la Patagonia y, en el futuro, generar recomendaciones de manejo y conservación. Este conocimiento permitirá diseñar estrategias de conservación basadas en la estructura poblacional y relaciones entre estas y entre áreas, asegurando la protección de la variabilidad genética y los procesos ecológicos claves en el Mar Argentino.

Objetivos

Objetivo general.

Analizar la estructura poblacional de *Bovichtus argentinus* a lo largo de un gradiente latitudinal en la Patagonia.

Objetivos específicos.

- Analizar mediante morfometría clásica y morfometría geométrica los otolitos de *Bovichtus argentinus* a lo largo del gradiente latitudinal estudiado.
- Establecer las poblaciones de *Bovichtus argentinus* a lo largo del gradiente latitudinal estudiado.
- Evaluar la relación entre la estructura poblacional de *Bovichtus argentinus* y las características oceanográficas y ambientales de las zonas de estudio, identificando posibles factores que influyen en la diferenciación de poblaciones.

Hipótesis.

Bovichtus argentinus presenta diferentes poblaciones a lo largo del gradiente latitudinal estudiado y esta estructura muestra correlación con las características ambientales y oceanográficas de cada zona.

Materiales y métodos.

El área de muestreo:

La zona de estudio abarca más de 1000 km de costa del Mar Argentino, las provincias patagónicas de Río Negro y Chubut. Durante enero, febrero y noviembre de 2024, se realizaron muestreos en cinco playas con intermareal rocoso: El Espigón (41º 07' S; 63º 00' O), Las Grutas (40º 48' S; 65º 05' O), Playas Doradas (41º 38' S; 65º 01' O), Playa Magagna (43º 23' S; 65º 02' O) y Comodoro Rivadavia (45° 43' S; 67° 20' O) (Figura 4). Estos sitios fueron seleccionados por su distribución a lo largo de un gradiente latitudinal, la presencia de plataformas de abrasión características del intermareal rocoso y sus diferencias oceanográficas.

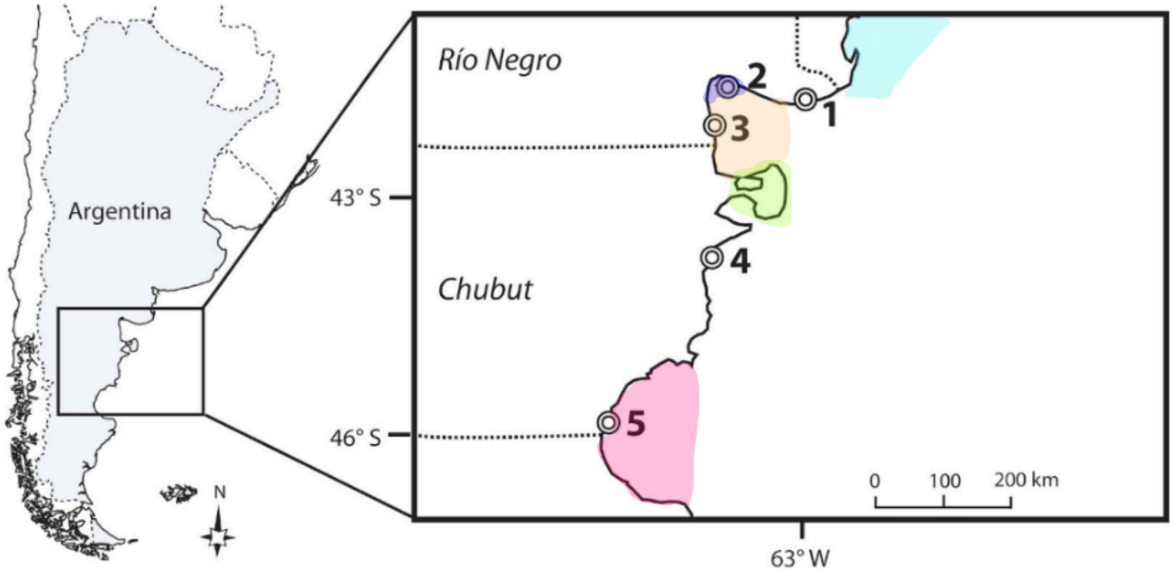

Figura 3. Sitios de muestreo. Referencia: 1) El Espigón. 2) Las Grutas. 3) Playas Doradas. 4) Playa Magagna. 5) Comodoro Rivadavia. De color se muestra en celeste parte del Area “El Rincon”, en color naranja el Golfo San Matias, en violeta la Bahia San Antonio, en color verde la Peninsula Valdez y en fuccia el Golfo San Jorge.

El Espigón, es la playa más septentrional, se encuentra cerca del límite norte del GSM y del área costera-marina "El Rincón" (Figura 3), además de recibir la influencia de la desembocadura del río Negro.

Dentro del GSM, se encuentran dos playas: Las Grutas y Playas Doradas (Figura 3). La primera está localizada en el extremo noroeste del golfo, próxima a la Bahía San Antonio, específicamente en la bajada 7 de Las Grutas. La segunda está en la zona de transición entre el norte y el sur del golfo, frente al pueblo. Ambas playas cuentan con cierto grado de resguardo del oleaje oceánico.

Más al sur, en el complejo de Playa Magagna, se muestreo la playa Cangrejales, que se sitúa entre el GSM y el Golfo San Jorge (GSJ), en las cercanías de la Península Valdés (Figura 3). Esta playa está expuesta a la energía del mar abierto y recibe influencia de la desembocadura del río Chubut. Finalmente, la playa El Pique, seleccionada en Comodoro Rivadavia, se encuentra en el centro del GSJ (Figura 3) y, al igual que Las Grutas y Playas Doradas, presenta cierto resguardo del oleaje oceánico al estar dentro de un golfo.

Muestreo de campo:

En los cinco sitios de muestreo, la captura de peces se realizó en el intermareal bajo (Figura 4), siguiendo el patrón de zonación propuesta por Stephenson y Stephenson (1949), que divide el intermareal en tres zonas: alta, media y baja, en función de la distribución de especies.

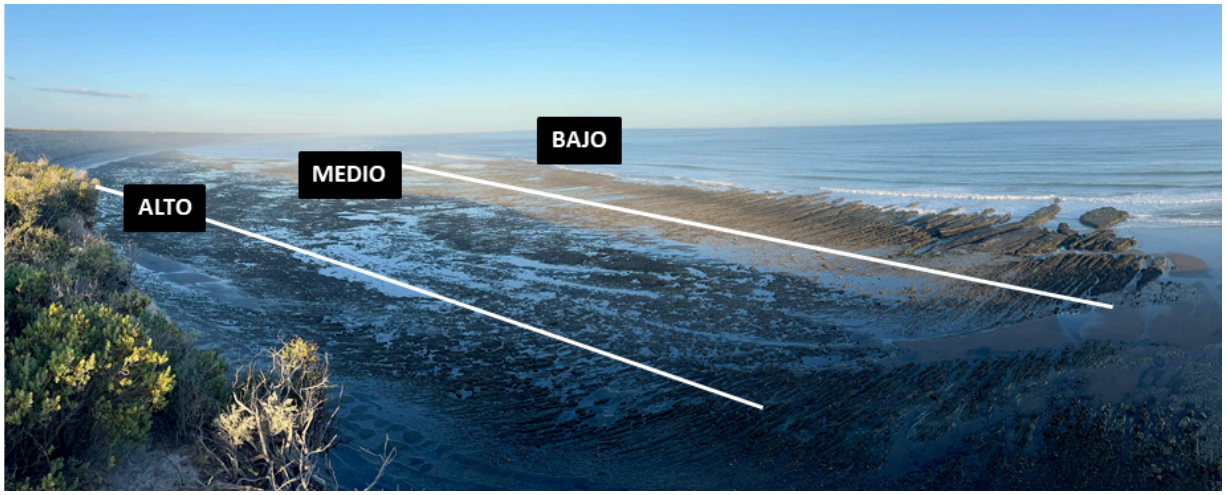

Figura 4 . Foto de un intermareal ilustrativa, las líneas blancas delimitan las tres zonas.

Se muestrearon pozas de diversas fisiografías y tamaños, realizando los muestreos una hora antes y una hora después de la bajamar, procurando trabajar con la menor altura de marea posible. Para la captura de los ejemplares, se empleó recolección manual con copos de mano (Figura 5), un método de bajo impacto ambiental. Los peces recolectados fueron etiquetados y transportados en conservadora al laboratorio, para su posterior congelación.

Se buscó obtener un mínimo de 30 individuos por sitio para garantizar un análisis estadístico adecuado de las muestras. Las capturas se realizaron bajo la autorización de la Subsecretaría de Pesca (Res. 37/2022-2025). La eutanasia de los organismos siguió los protocolos bioéticos establecidos para el sacrificio por frío, conforme a la aprobación del CICUAL (UNRN Nº 001/2024) para el trabajo de campo.

Figura 5. Fotos de salidas a campo, recolectando con copo de mano.

Trabajo de laboratorio:

Poblacional de *Bovichtus argentinus*

En el laboratorio, utilizando un ictiómetro (Figura 6), se registró de cada individuo la longitud total (LT ±1 mm) y la longitud estándar (LS ±1 mm). Para esta última medida se tomó como referencia la distancia entre el extremo de la cabeza y la base de los rayos de la aleta caudal (Figura 7). Además, se midió el peso total (W ±0,1 g) con una balanza Ohaus Compass CR621ZH (0,1g de carga mínima) (Figura 6), excepto en los ejemplares de Comodoro Rivadavia (CR), que estaban conservados en alcohol debido a que venían de una colecta anterior. En este caso, no se registró el peso debido a la deshidratación causada por el conservante, lo que podría alterar la medición.

Para el estudio, solo se incluyen individuos con LS de 40 mm a 120 mm, ya que es donde se tenían un mayor número de individuos, por otro lado no se cuenta con la talla de madurez sexual de esta especie. Además, se buscó homogeneizar la muestra, considerando que la morfometría y morfología del otolito varía a lo largo del desarrollo de los peces (Tombari *et al.* 2005; Avigliano, 2014; Villar Montalt, 2018).

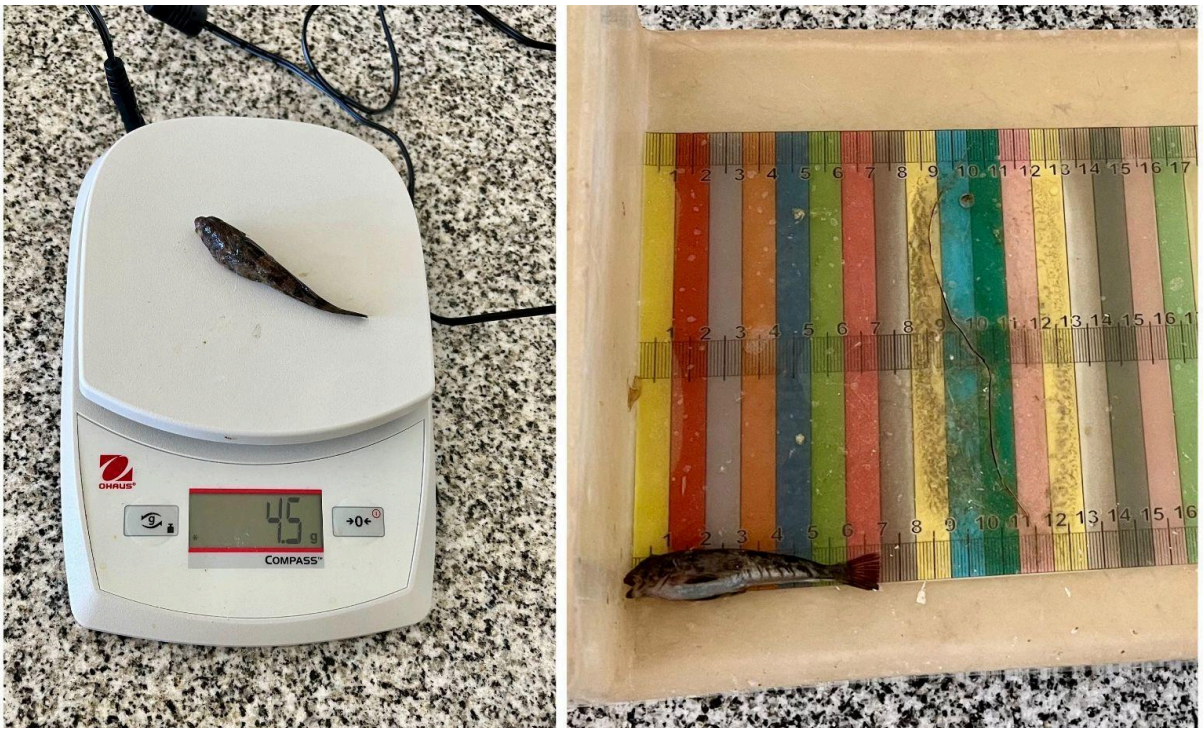

Figura 6. Fotos de herramientas de laboratorio empleadas para medir y pesar los individuos.

Figura 7. Disposición esquemática de los caracteres morfométricos medidos sobre un ejemplar capturado. en una vista lateral del ejemplar se referencian 1: longitud total (LT); 2: longitud estándar (LS); 3: sección de corte para extraer el otolito.

Extracción:

Los otolitos de *Bovichtus argentinus* se extrajeron para evaluar su morfometría y morfología. Para esto, se realizó un corte en la región posterior de la cabeza (Figura 7), utilizando material de disección adecuado (Figura 8), extrayendo ambos otolitos *sagitta* del oído interno de los peces (Figura 8 y 9). Luego, se limpiaron con etanol al 70 % para eliminar las membranas que lo rodean (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015) y, una vez secos, se almacenaron en tubos eppendorf rotulados para su conservación.

Figura 8. A: material de disección. **B:** trabajando en la extracción de otolito.

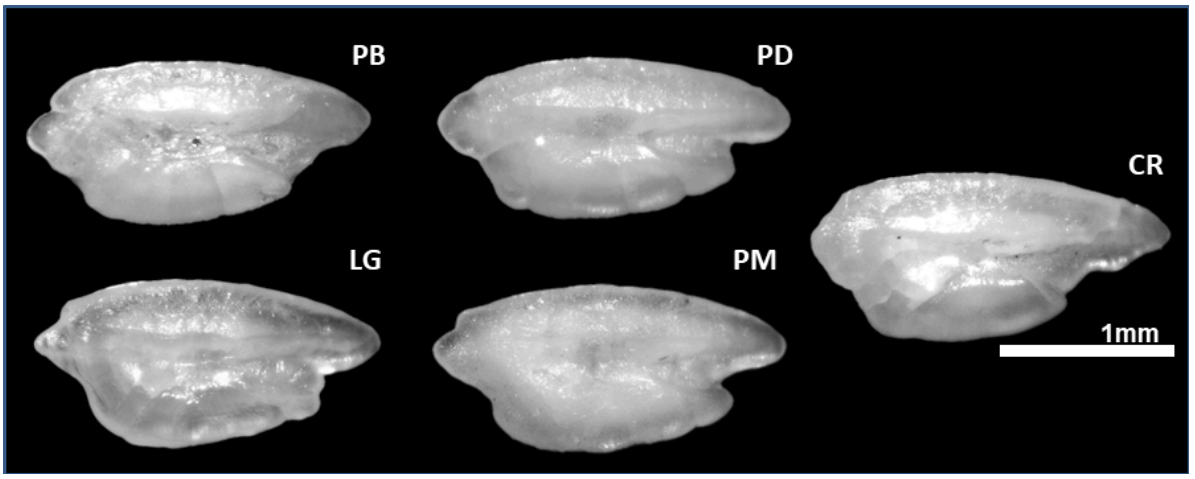

Figura 9. Otolito *sagitta* de *B. argentinus*. Referencia: PB= El Espigón. LG= Las Grutas. PD= Playas Doradas. PM= Playa Magagna. CR= Comodoro Rivadavia.

Fotografía:

Los otolitos *sagitta* de cada espécimen fueron fotografiados sobre un fondo oscuro con una cámara Leica® (MC170HD) montada en una lupa estereoscópica Schönfeld® (Figura 10) y el software Leica Application Suite (LAS versión 4.5). Posteriormente se retocaron los contrastes en caso de ser necesario utilizando diferentes softwares de edición de imágenes para obtener una imagen binarizada, evitando así errores en la obtención de los contornos por parte del software.

Se utilizó únicamente el otolito derecho de cada individuo, ya que al comparar las variables morfométricas de ambos otolitos mediante un test de *t* no se encontraron diferencias significativas entre ellos.

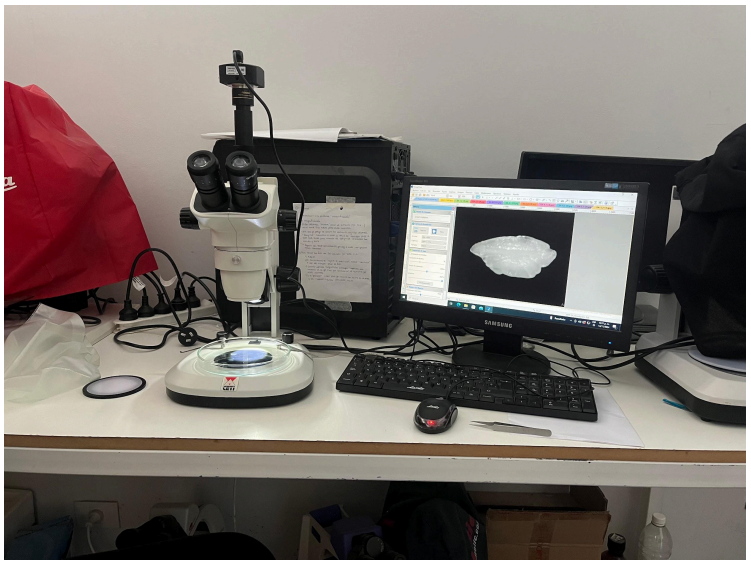

Figura 10. Lupa estereoscópica Schönfeld® con otolito de *B. argentinus.*

Procesamiento de imagen de los otolitos:

Morfología del otolito

Se realizó una descripción morfológica de la cara interna del otolito *sagitta* de *Bovichtus argentinus* siguiendo la nomenclatura empleada por Volpedo *et al*. 2017. Para la descripción se consideraron los siguientes caracteres morfológicos: forma general de la sagitta, la forma de los bordes, presencia y características del rostro y de la excisura, la topografía de la cara interna (presencia y características del ostium y de la cauda).

Análisis morfométrico

Para cada otolito, se registraron variables morfométricas utilizando el software ShapeR (Libungan y Pálsson, 2015). Las mediciones incluyen la longitud (OL), el ancho (OW), el perímetro (OP) en milímetros y el área (OA) en mm² (Figura 11). Además, se calcularon los siguientes índices morfométricos según la metodología de Volpedo y Vaz dos Santos (2015):

- **Circularidad (OP^2/OA):** Evalúa qué tan cercano es el contorno del otolito a una forma circular. Los valores próximos a 1 indican una forma más regular y circular, mientras que los valores más altos reflejan contornos más complejos, alargados o irregulares.

- **Rectangularidad ($OA/(OL \times OW)$):** Mide el grado de semejanza del otolito con un rectángulo en función de su superficie y dimensiones lineales (largo y ancho). Un valor cercano a 1 indica una forma más rectangular.

- **Redondez ($(4 \times OA)/(\pi \times OL^2)$):** Cuantifica qué tan redondeado es el otolito, considerando su superficie y largo. Los valores altos indican una forma más redonda, mientras que los valores más bajos sugieren otolitos más alargados.

- **Relación de aspecto (OW/OL):** Indica la proporción entre el largo y el ancho del otolito. Valores elevados corresponden a formas más alargadas, mientras que valores cercanos a 1 reflejan otolitos más anchos o cuadrados.

Todas las variables morfométricas presentaron una distribución normal y homogeneidad de varianza (Shapiro–Wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). Posteriormente, se analizaron los índices morfométricos mediante ANOVA, y se aplicaron contrastes de *Bonferroni* para evaluar las diferencias entre las áreas de muestreo.

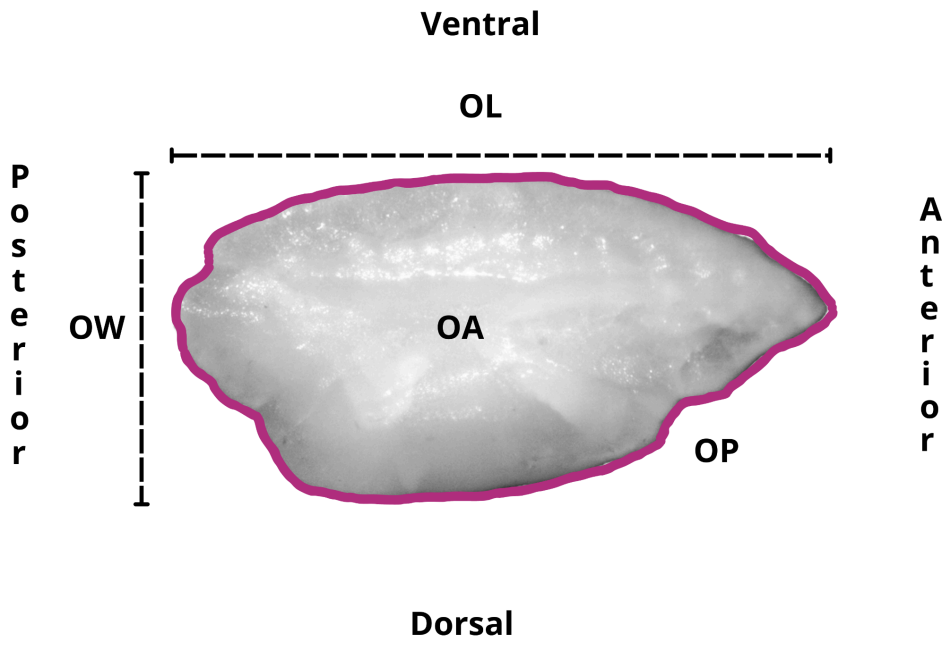

Figura 11 . Otolito *sagitta* de *B. argentinus*, con los parámetros de sus mediciones.Referencia: OL : Longitud del otolito; OA: Área del otolito; OP: Perímetro del otolito; OW: Ancho del otolito.

Análisis del contorno

Los contornos de los otolitos se analizaron utilizando el paquete ShapeR (Libungan y Palsson, 2015) del software estadístico R. La función *detect.outline* se empleó para extraer el contorno de todos los otolitos (umbral = 0,15) y para eliminar el ruido de píxeles alrededor de los contornos que podrían afectar los análisis se utilizó la función *smooth.out*.

Con estos contornos extraídos se obtuvieron los descriptores de Fourier (DF) y los coeficientes Wavelet (CW). Con un total de 45 DF y 64 CW, se obtuvo una precisión superior al 98,5 % en la reconstrucción de los contornos comparados con el original. Los DF y CW que mostraron una correlación significativa con la longitud del pez ($p<0,05$) fueron descartados del análisis para evitar la inclusión de variables influenciadas por cambios alométricos (Koeberle *et al.* 2020; Morawicki *et al.* 2022; Vasconcellos *et al.* 2024). De los 45 DF y 64 CW integrados en el paquete ShapeR,

solo 34 DF y 51 CW cumplieron nuestros supuestos y se usaron en el análisis estadístico posterior.

Los contornos promedios de otolitos reconstruidos mediante WC normalizados para cada grupo de muestras se graficaron todos juntos, y las diferencias entre grupos se evaluaron visualmente (Figura 13).

Para estimar qué parte del contorno del otolito contribuyó más a la diferencia entre las posibles poblaciones, se graficaron los coeficientes medios de forma y su desviación estándar (DE) frente al ángulo del contorno desde donde se extrajeron, usando la función *plotCI* (Figura 14).

Análisis Multivariado

Utilizando las variables seleccionadas, se realizó un análisis discriminante lineal (LDA) con índices morfométricos, descriptores de Fourier y coeficientes Wavelet, tanto por separado como combinados, con el objetivo de identificar grupos y diferenciar zonas. El éxito de la clasificación entre los distintos grupos se evaluó mediante una matriz de clasificación cruzada *Jackknifed* (Neves *et al.* 2021).

Para comparar las localizaciones de las muestras y los grupos obtenidos en el LDA, se empleó un análisis multivariante permutacional de la varianza (PERMANOVA), basado en la medida de disimilitud de Bray-Curtis (Anderson, 2017). Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad en todas las variables utilizadas.

Los análisis estadísticos se realizaron con los siguientes softwares estadísticos: Past 4.17 (Hammer *et al.* 2001), Infostat (Infostat, 2008) y R (R Core Team, 2021) utilizando el paquete ShapeR (Libungan y Pálsson, 2015).

Relación de la estructura poblacional con los factores ambientales.

Finalmente, las características ambientales de cada playa y oceanográficas generales del mar Argentino fueron recopiladas. Para esto, se utilizaron datos obtenidos de fuentes bibliográficas y bases de datos oceanográficas como del Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Los datos recopilados se usaron para analizar la estructura poblacional obtenida y la posible relación con las variables ambientales.

Resultados

Se analizaron un total de 125 peces (Tabla 1). En general se observa que los individuos de CR son los más grandes en longitud (81,48 ± 9,28 mm), PD se sitúa en un rango intermedio con 65,37 ± 8,32 y PB tienen la menor LS (49,89 ± 6,51 mm). En cuanto al peso, PD muestra el valor medio más alto (5,94 ± 2,21 g), y PB el más bajo (2,76 ± 1,11 g). Además, las elevadas desviaciones estándar sugieren una considerable variabilidad intra-poblacional, lo que evidencia un solapamiento en las distribuciones de tamaño y peso entre las localidades (Tabla 1).

Tabla 1. Número de individuos analizados (N); Valores medios y desviación estándar de longitud estándar (LS) y del peso total (W). Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

Playa	N	LS (mm)		W (g)	
		Media	±DE	Media	±DE
PB	27	49,89	6,51	2,76	1,11
LG	10	55	11,91	3,75	2,6
PD	30	65,37	8,32	5,94	2,21
PM	31	51	8,28	2,98	1,42
CR	27	81,48	9,28	-	-
TOTAL	125	61,11	14,86		

Descripción morfológica del otolito *Sagitta*

Forma sagital, notablemente más larga que ancha. El largo máximo se encuentra desplazado hacia el margen ventral, mientras que el ancho máximo es medial (Figura 12).

Extremo anterior anguloso con excisura profunda a poco profunda. Rostro bien definido y anguloso, con un antirrostro poco marcado. Extremo posterior liso y de orientación oblicua. Borde ventral generalmente liso, en ocasiones ligeramente sinuoso y borde dorsal liso. Sulcus acusticus de tipo ostial medial, con un patrón heterosulcoide. Ostium profundo, con forma de embudo. Cauda de contorno oval-circular a elíptica (Figura 12).

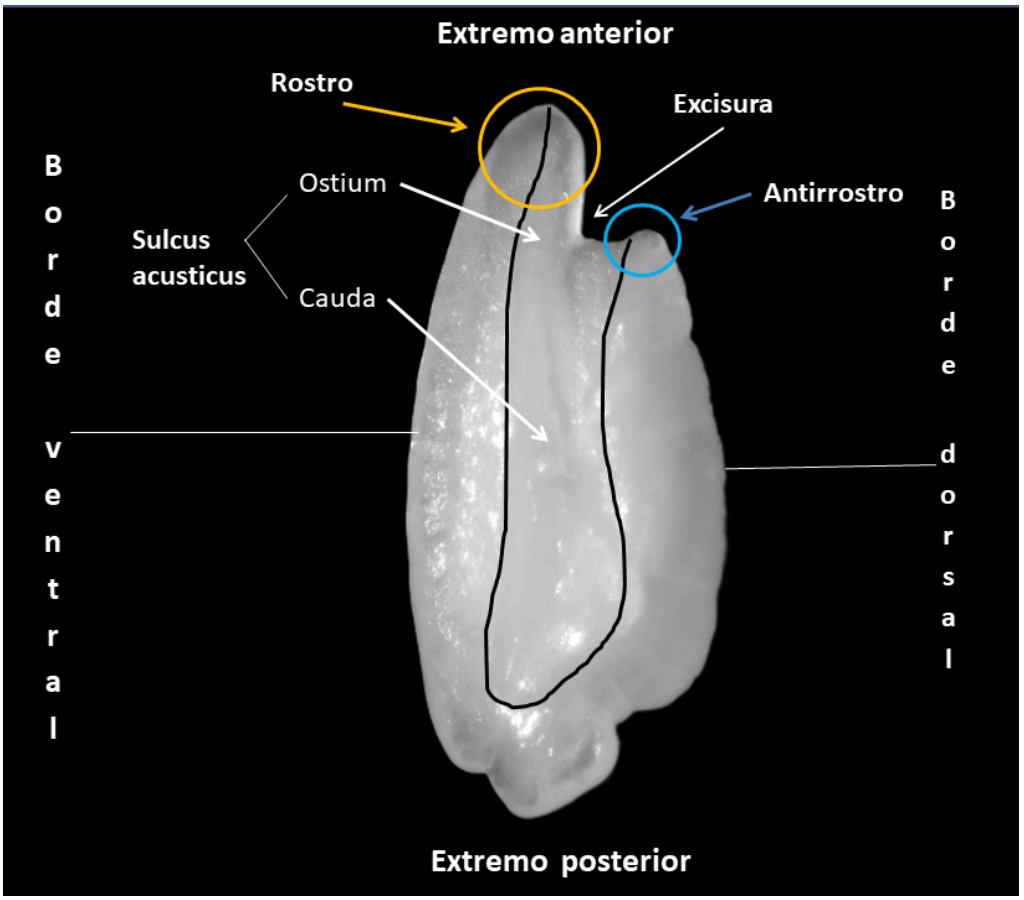

Figura 12.Características distintivas de la cara interna del otolito *sagitta* de *B.argentinus.*

Características de forma media

Los contornos de los otolitos de los peces estudiados presentaron diferencias en su forma media (Figura 13). Se observaron variaciones en la morfometría, particularmente en el rostro, el anti-rostro y el extremo posterior (Figura 13).

Los otolitos de las localidades del Sur (PD-PM-CR) presentan formas más alargadas y un rostro más prominente, los del norte (PB-LG) presentan formas más redondeadas y un rostro menos prominente. En cuanto al anti-rostro se observa una gran variación entre las poblaciones, pero no se puede hacer un agrupamiento ya que no se observa un patrón latitudinal claro (Figura 13).

Estas diferencias quedaron reflejadas en los coeficientes *wavelet* correspondientes a las regiones del contorno del otolito entre 120°-240°, 290°-310° y 340°-360º/ 0º-20° (Figura 14).

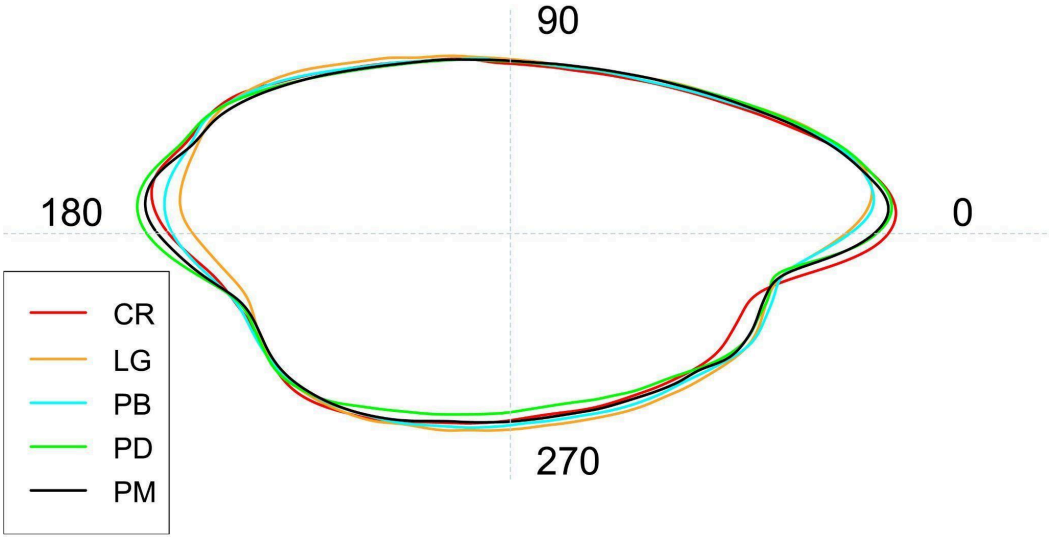

Figura 13. Contorno promedio de los otolitos de cinco localidades. Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

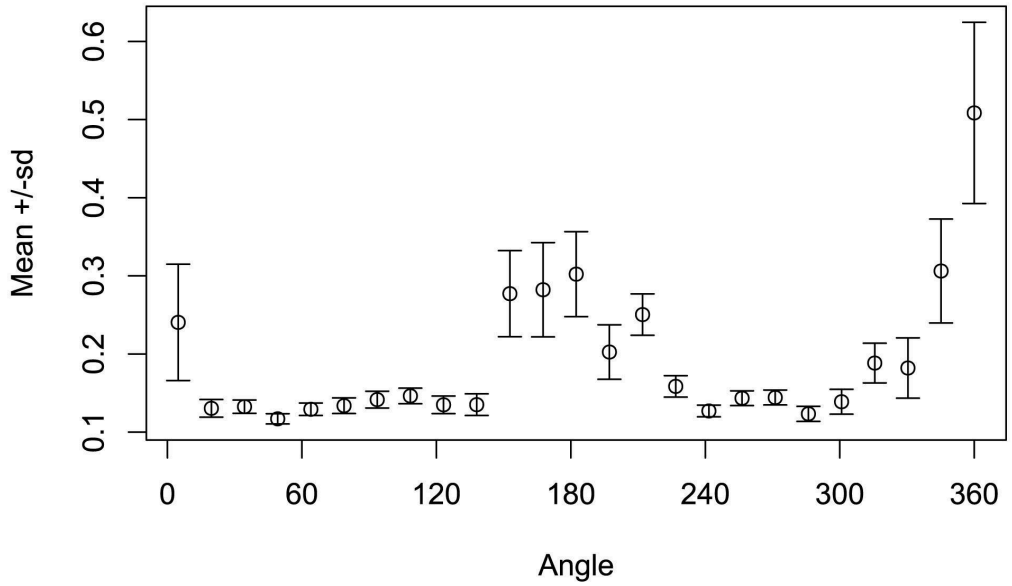

Figura 14. Media y desviación estándar (DE) de los coeficientes wavelet que representan la forma de todos los otolitos combinados y la proporción de varianza entre los peces de diferentes localidades. El eje central muestra el ángulo en grados (°) según las coordenadas polares, donde el centroide del otolito es el punto central de las coordenadas polares.

Índices de forma

Se observan diferencias notables en cuanto a la media y el desvío estándar de las variables morfométricas (OL, OW, OA y OP) de los otolitos en la Tabla 2. En general, se observa que los individuos de CR tienen otolitos consistentemente más grandes y, junto con PD, se diferencian de las otras localidades. Además, la mayor

variabilidad observada en LG sugiere una heterogeneidad considerable en esa muestra, aunque esta playa tiene menos individuos.

En cuanto al Área (OA): CR presenta el mayor valor medio (1,499 mm²), lo que indica que los otolitos de esta localidad son, en promedio, de mayor tamaño. PD también muestra un valor relativamente alto (1,234 mm²), mientras que PB y PM tienen los valores más bajos.

En cuanto a la Longitud (OL): Los otolitos de CR son los más largos (2,088 mm) y PD sigue en la tendencia con 1,927 mm, en contraste con PB, LG y PM que presentan valores cercanos a 1,53–1,61 mm. Se destaca también la alta variabilidad en LG.

En cuanto a la Anchura (OW) y Perímetro (OP): CR nuevamente tiene los valores más elevados (1,028 mm en anchura y 5,094 mm en perímetro), evidenciando una morfología más prominente en esta localidad. PD también muestra valores superiores en comparación con PB, LG y PM.

Tabla 2. Valores medios y desviación la longitud (OL), el ancho (OW), el perímetro (OP) y el área (OA) del otolito. Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

Playa	OA (mm²)		OL (mm)		OW (mm)		OP (mm)	
	Media	±DE	Media	±DE	Media	±DE	Media	±DE
PB	0,880	0,202	1,532	0,233	0,792	0,076	3,801	0,523
LG	0,981	0,405	1,569	0,406	0,831	0,154	3,931	0,952
PD	1,234	0,198	1,927	0,181	0,903	0,065	4,693	0,383
PM	0,898	0,207	1,608	0,204	0,783	0,089	3,895	0,489
CR	1,499	0,186	2,088	0,140	1,028	0,071	5,094	0,347
TOTAL	1,108	0,327	1,766	0,308	0,869	0,127	4,322	0,721

Los índices de forma obtenidos a partir de las variables OL, OW, OA y OP, mostraron mayores valores de *circularidad* hacia el norte de la distribución espacial estudiada, mientras la *rectangularidad* va de forma opuesta. En cuanto a la *r*elación *de aspecto* y *redondez* no se observa un patrón claro (tabla 3).

Tabla 3. Tabla de Valores medios ± desviación estándar de los índices de forma por localidad, (análisis estadístico ANOVA: *F* [estadística] y *p* [significancia]). Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

Índice	PB	LG	PD	PM	CR	F	p
Circularidad	16,56 ±0,98 ^{A}	16,20 ±1,11 ^{A}	17,99 ±0,97 ^{C}	17,06 ±0,81 $^{A B}$	17,39 ± 0,69 $^{B C}$	12,85	<0,0001
Rectangularidad	0,72 ±0,02 $^{B C}$	0,73 ±0,02 ^{C}	0,71 ±0,02 $^{A B}$	0,71 ±0,02 $^{A B}$	0,70 ±0,02 ^{A}	8,49	<0,0001
Relación de aspecto	0,52 ±0,04 ^{B}	0,54 ±0,04 ^{B}	0,47 ±0,03 ^{A}	0,49 ±0,02 ^{A}	0,49 ±0,02 ^{A}	14,09	<0,0001
Redondez	0,08 ±0,004 ^{CD}	0,08 ±0,01 ^{D}	0,07 ±0,003 ^{A}	0,07 ±0,003 ^{BC}	0,07 ±0,00 ^{AB}	13,42	<0,0001

Nota: Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Análisis multivariante

Los resultados del Análisis Discriminante Lineal (LDA) mostraron distintos ordenamientos de los individuos, según las variables utilizadas en el análisis. Se aplicaron índices de forma, descriptores de Fourier (DF), coeficientes de wavelet (CW) y una combinación de DF y CW para generar los ordenamientos.

El ordenamiento de LDA basado en los índices de forma no muestra un patrón claro entre las zonas estudiadas (Figura 15). Esto se refleja también en la clasificación cruzada (Tabla 4), donde solo el 41,9 % de los peces fueron correctamente clasificados.

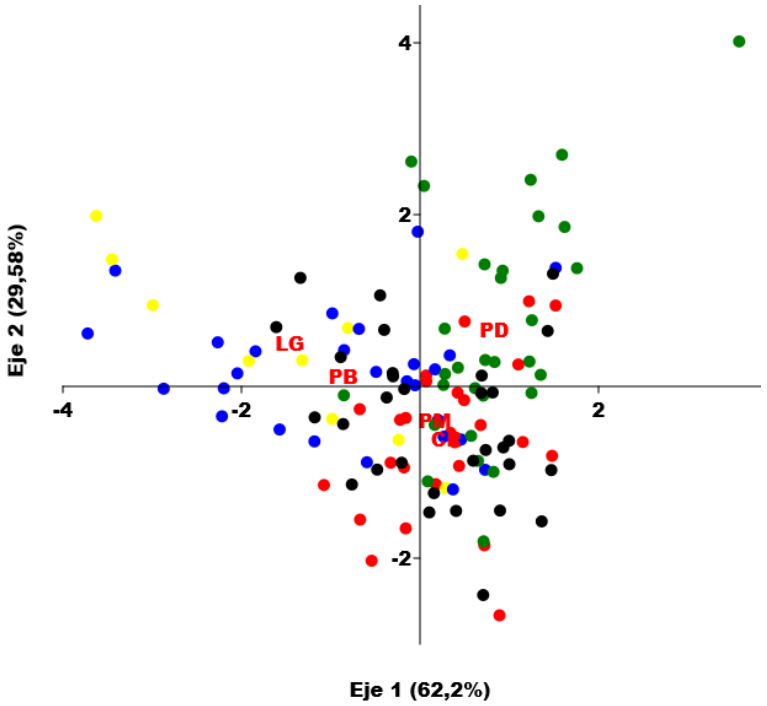

Figura 15. Análisis Discriminante Lineal utilizando Índices Morfométricos. Ref.: PB (azul): El Espigón, LG (amarillo): Las Grutas, PD (verde): Playas Doradas, PM (negro): Playa Magagna y CR (Rojo): Comodoro Rivadavia.

Tabla 4. Tabla de clasificación cruzada del Análisis Discriminante Lineal utilizando los índices de formas. Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

	CR	PB	LG	PD	PM	TOTAL
CR	11	2	0	4	9	26
PB	6	6	8	3	4	27
LG	1	3	4	1	1	10
PD	4	1	1	17	7	30
PM	7	5	2	3	14	31
TOTAL	29	17	15	28	35	124

El ordenamiento mediante los descriptores de Fourier (DF) muestra una clara separación de PB (Figura 16) en los valores positivos del eje 1. En el eje 2, CR se distingue en los valores positivos, mientras que el resto de las poblaciones se agrupan en valores negativos. La clasificación cruzada (Tabla 5) indica un 67,74 % de clasificación correcta, con los principales problemas entre PD-CR y PD-PM.

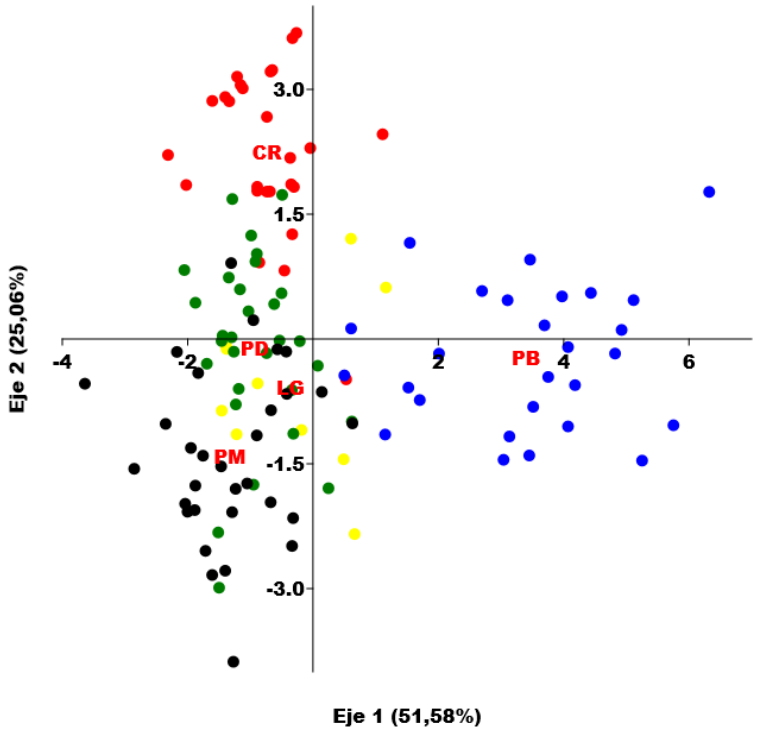

Figura 16. Análisis Discriminante Lineal utilizando descriptores de Fourier (DF). Ref.: PB (azul): El Espigón, LG (amarillo): Las Grutas, PD (verde): Playas Doradas, PM (negro): Playa Magagna y CR (Rojo): Comodoro Rivadavia.

Tabla 5. Tabla de clasificación cruzada del Análisis Discriminante Lineal utilizando los descriptores de Fourier (DF). Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

	CR	PB	LG	PD	PM	TOTAL
CR	20	0	4	2	0	26
PB	0	22	1	3	1	27
LG	1	0	5	1	3	10
PD	5	2	2	16	5	30
PM	3	1	4	2	21	31
TOTAL	29	25	16	24	30	124

El ordenamiento basado en los coeficientes de wavelet (CW) muestra que en el eje 1, PB se separa hacia los valores positivos (Figura 17). En el eje 2, se observa un gradiente de positivos a negativos, donde PM aparece con valores positivos altos, seguido de LG, mientras que PD presenta valores negativos bajos y CR los más

bajos (Figura 41). La clasificación cruzada (Tabla 6) muestra un 66,94 % de clasificación correcta, con los principales errores entre PD-PB, PM-CR y PM-PD.

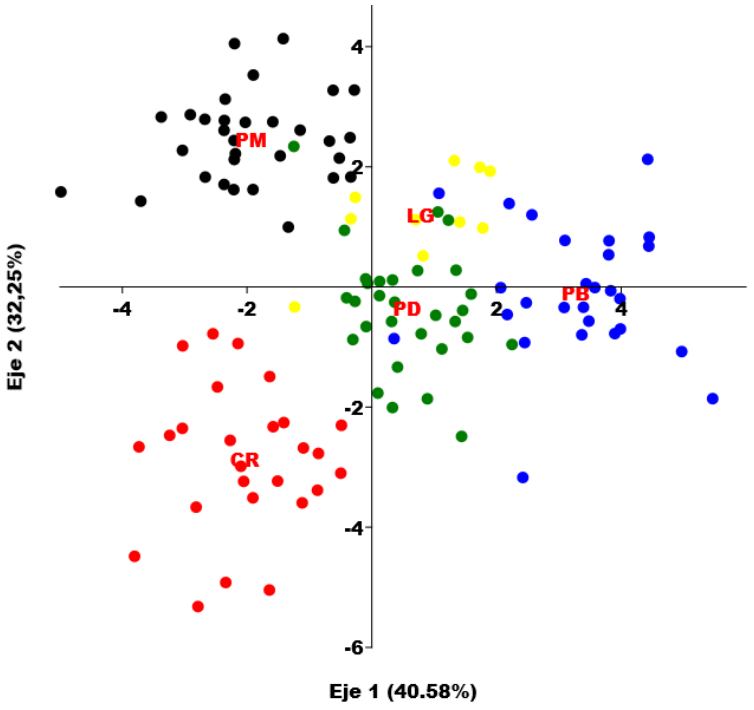

Figura 17. Análisis Discriminante Lineal utilizando coeficientes de wavelet (CW). Ref.: PB (azul): El Espigón, LG (amarillo): Las Grutas, PD (verde): Playas Doradas, PM (negro): Playa Magagna y CR (Rojo): Comodoro Rivadavia.

Tabla 6. Tabla de clasificación cruzada del Análisis Discriminante Lineal utilizando los coeficientes de wavelet. Ref.: PB: El Espigón, LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

	CR	PB	LG	PD	PM	TOTAL
CR	16	1	0	4	5	26
PB	3	17	0	5	2	27
LG	1	0	6	3	0	10
PD	1	3	1	20	5	30
PM	0	1	2	4	24	31
TOTAL	21	22	9	36	36	124

Al combinar los descriptores de Fourier (DF) y los coeficientes de wavelet (CW), se observa que PB se separa claramente en los valores positivos del eje 2, mientras que CR lo hace en los valores negativos del eje 1. Por otro lado, LG, PD y PM

forman un conglomerado (Figura 18). La clasificación cruzada (Tabla 7) muestra un 61,29% de clasificación correcta, con los principales errores entre PD y PM.

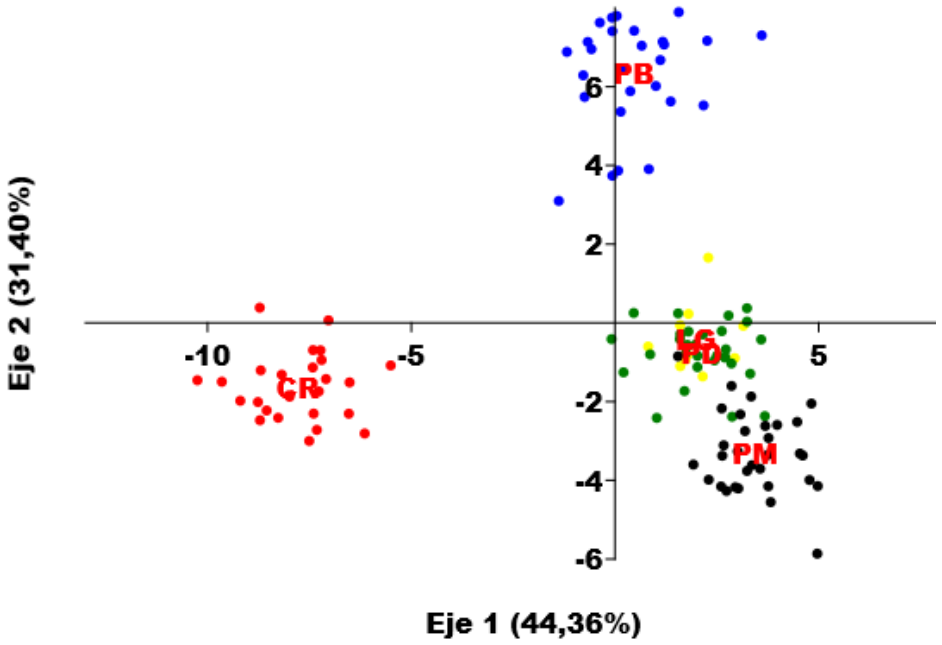

Figura 18. Análisis Discriminante Lineal utilizando descriptores de Fourier (DF) y coeficientes de wavelet (CW). Ref.: PB (azul): El Espigón, LG (amarillo): Las Grutas, PD (verde): Playas Doradas, PM (negro): Playa Magagna y CR (Rojo): Comodoro Rivadavia.

Tabla 7. Tabla de clasificación cruzada del Análisis Discriminante Lineal utilizando los descriptores de Fourier (DF) y coeficientes de wavelet (CW), Ref.: PB: El Espigón LG: Las Grutas, PD: Playas Doradas, PM: Playa Magagna y CR: Comodoro Rivadavia.

	CR	PB	LG	PD	PM	TOTAL
CR	20	0	3	2	1	26
PB	5	15	1	5	1	27
LG	1	1	4	2	2	10
PD	3	0	5	16	6	30
PM	0	1	2	7	21	31
TOTAL	29	17	15	32	31	124

Se realizaron agrupamientos de las zonas de estudio para evaluar la posible estructuración de poblaciones. A los grupos formados se les aplican pruebas PERMANOVA, utilizando los armónicos de Fourier como variable, ya que estos

proporcionarán el mayor porcentaje de clasificación correcta en los análisis de LDA (Tabla 8).

Entre los diferentes esquemas evaluados, el que mostró el mejor ajuste fue el **Grupo 7** (PB, LG, PD, PM vs. CR), con un valor de F = 12,46 y un p altamente significativo. Esto sugiere que este modelo ofrece la mejor separación multivariada entre los grupos, indicando la existencia de dos poblaciones dentro del área de estudio: una al norte, desde PB hasta PM, y otra más al sur, representada únicamente por CR. Los resultados evidencian que CR es un grupo claramente diferenciado del resto, mientras que las demás localidades comparten similitudes en su variabilidad.

Por otro lado, el **Grupo 8** (PB y LG vs. PD y PM, con CR analizado por separado) mostró el segundo F más alto (F = 8,206) y un p altamente significativo, lo que refuerza un patrón de ordenamiento latitudinal norte-sur. Estas diferencias podrían volverse más pronunciadas con un mayor tamaño muestral en algunas localidades, como LG. Se observa que PB presenta características propias, aunque no se separa tan claramente como CR.

Por último, otro agrupamiento relevante es el **Grupo 2** (F = 7,776), que sugiere que PB se distingue del resto de los sitios. Sin embargo, este valor es menor que los obtenidos en los grupos anteriores (F = 12,46 y F = 8,206), lo que indica que cuando PB se agrupa con LG, la diferenciación con los demás sitios es más pronunciada, evidenciando una mayor conectividad entre estos dos puntos.

A partir de los resultados del PERMANOVA, podemos resumir que es necesario realizar más muestras en LG para determinar si, junto con PB, forma una población distinta o si debe considerarse parte de la población más grande que incluye los demás sitios del Golfo. Por otro lado, PM, que se encuentra al sur del golfo, separada por la Península Valdés y el Golfo Nuevo, parece pertenecer a la misma población que se encuentra dentro del Golfo San Matías. Finalmente, CR muestra una clara separación respecto al resto de los puntos de muestreo, lo que indica que constituye una población distinta.

Tabla 8. Comparación general de PERMANOVA entre grupos para descriptores de Fourier.Referencias: *F* [estadística] y *p* [significancia].

Grupo	Agrupación	F	*p*
Grupo 1	PB, LG vs PD vs PM,CR	4,526	0,0001
Grupo 2	PB vs LG,PD,PM vs CR	7,776	0,0001
Grupo 3	PB, LG,PD vs PM,CR	5,455	0,0002
Grupo 4	PB vs LG,PD,PM, CR	3,907	0,0023
Grupo 5	PB vs LG,PD vs PM,CR	4,019	0,0001
Grupo 6	PB,LG,PD vs PM vs CR	7,109	0,0001
Grupo 7	**PB , LG,PD, PM vs CR**	**12,46**	**0,0001**
Grupo 8	PB,LG vs PD,PM vs CR	8,206	0,0001
Grupo 9	PB vs LG,PD vs PM vs CR	5,695	0,0001
Grupo 10	PB vs LG vs PD vs PM vs CR	4,909	0,0001

Relación de la estructura poblacional con los factores ambientales.

*Composición del sustrato y estructura de la plataforma de abrasió*n

Las cinco playas presentan plataformas de abrasión extensas, aunque con diferencias en su composición litológica. En todas ellas, la roca base está conformada por sedimentitas, pero varía la unidad geológica de la que forman parte. La composición del sustrato también varía significativamente: Las Grutas y Playas Doradas presentan playas disipativas con sedimentos más finos. Por otro lado, Magagna y Comodoro Rivadavia tienen playas reflectivas con un sustrato predominantemente grueso, con gravas y rodados. Mientras El Espigón es una playa disipativa con arenas medias a gruesas (Figura 19).

Figura 19. Fotos de las playas de los sitios de muestreo. Ref.: **A**: Las Grutas. **B**: El Espigón. **C**: Playas Doradas. **D**: Playa Magagna. **E**: Comodoro Rivadavia.

El impacto humano es mayor en las plataformas de abrasión de Playas Doradas, Las Grutas y Magagna debido a su proximidad a centros urbanos y su uso recreativo, particularmente para la pesca de pulpos.

En cuanto a la morfología, se observa una similitud entre las plataformas del Espigón, Magagna y Comodoro: estas presentan un intermareal alto y medio con una superficie relativamente plana, que, si bien muestra rasgos típicos de erosión marina, son depresiones o surcos poco pronunciados, lo que indica un desgaste superficial leve. En contraste, con el intermareal bajo que sufre una acción erosiva mucho más intensa, generando un relieve irregular y con distintos niveles, caracterizado por la presencia de canales y pozas de marea de variadas formas y dimensiones (Figura 20).

Con respecto a Las Grutas y Playas Doradas, en este caso las plataformas no presentan un cambio tan abrupto. La transición hacia el intermareal bajo es

progresivo, lo que significa que a medida que se avanza hacia la zona baja, la superficie se vuelve gradualmente más irregular. Presentando además rocas sedimentarias de diversa morfología y pozas de mareas de diversas formas y dimensiones (Figura 20).

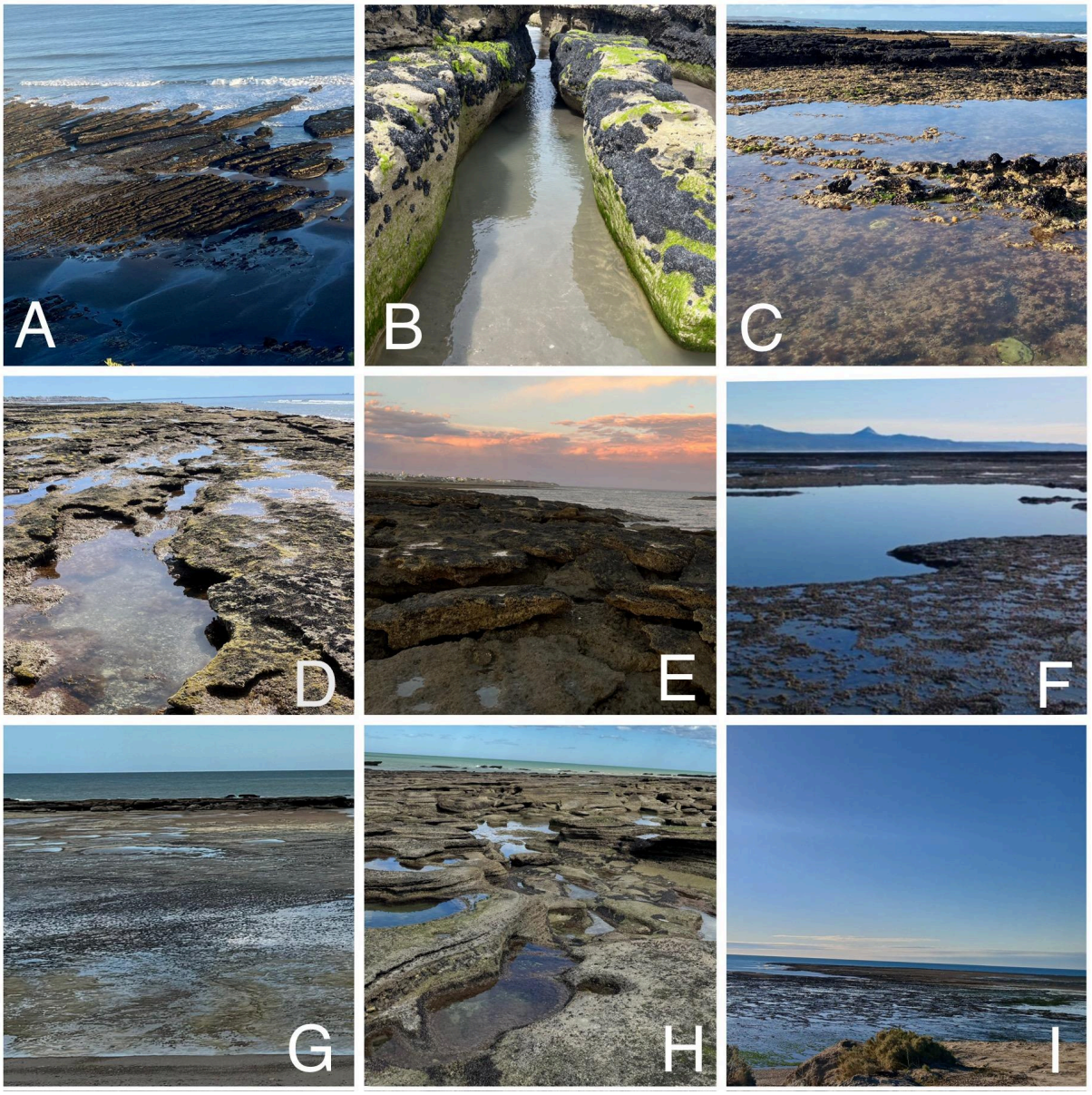

Figura 20. Fotos de los sitios de muestreo. **A**: Intermareal bajo de la plataforma de abrasión de PB. **B**: Canales de marea de la Plataforma de abrasión de PB. **C**: Plataforma de abrasión de PD. **D**: Poza de marea en Plataforma de abrasión de LG. **E**: Plataforma de abrasión de LG. **F**: Plataforma de abrasión de CR. **G**: Intermareal alto de la Plataforma de abrasión de PM. **H**: Intermareal bajo de la Plataforma de abrasión de PM. **I**: Plataforma de abrasión de CR.

Oceanografía general

Dado que no se han tomado datos específicos de temperatura y salinidad en los sitios de estudio, se considera la información general de las principales masas de agua y corrientes marinas de la región. La principal corriente marina es la de Malvinas, su temperatura media oscila anualmente entre los 4 ºC y los 11 ºC, mientras que la salinidad oscila anualmente entre 33,8 ppt y 34,4 ppt. La corriente de la Patagonia se encuentra restringida a la plataforma continental patagónica, fluye hacia el norte más lentamente que las aguas del talud, su temperatura media, que varía con la latitud y la estación, oscila entre los 5 ºC y los 15 ºC. La salinidad aumenta de la costa hacia la plataforma exterior y del sur al norte y va desde los 33 ppt a los 34,2 ppt (INIDEP, 1998).

A lo largo de la plataforma, en general la temperatura tiende a aumentar de sur a norte (entre 50º S y 36º S) y disminuir desde la costa hacia el talud continental (Figura 21). Además, la distribución horizontal de la salinidad permite identificar cuatro regímenes oceanográficos, según Guerrero y Piola (1997), los cuales se observan en la Figura 22: (1) Agua Costera con baja salinidad (<33,4 ppt), presente en el estuario del Río de la Plata, El Rincón y Santa Cruz; (2) Agua Costera con alta salinidad (33,8 - 34,0 ppt), en la provincia de Buenos Aires y en los golfos San Matías y Nuevo; (3) Agua de Plataforma Media (33,4 - 33,7 ppt), que se extiende a lo largo de la plataforma central desde sus orígenes a los 55/52° 30'S hasta 40/38°S; y (4) Agua de Plataforma Externa o Talud (33,7 - 34,0 ppt), ubicándose entre el mínimo de salinidad del Agua de Plataforma Media y el máximo de salinidad relativo que caracteriza a la Corriente de Malvinas (S > 34,1 ppt). Estando PB, LG y PD dentro del régimen 2 (Agua Costera con alta salinidad), PM en dentro del régimen 3 (Agua de Plataforma Media) y por último CR en el régimen 1 (Agua Costera con baja salinidad).

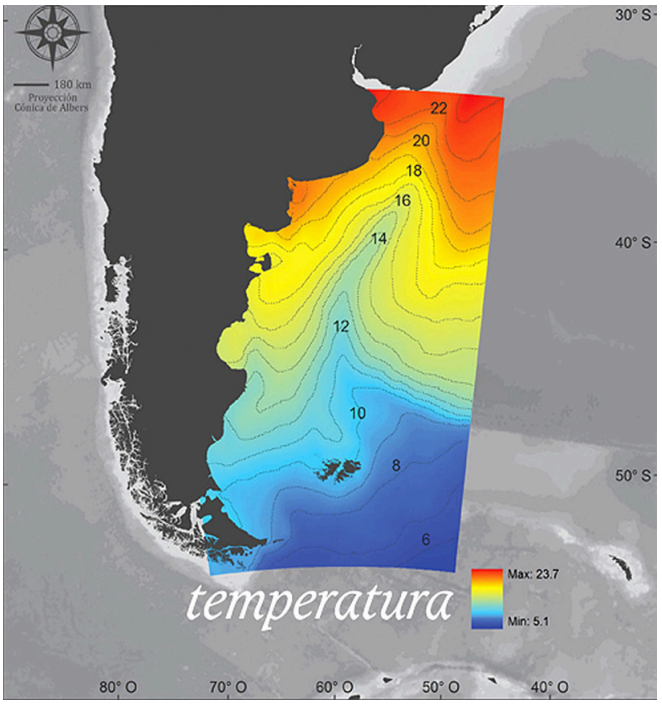

Figura 21. Distribución media anual de la temperatura superficial. Escala de colores que representa la temperatura de grados ºC. Fuente: https://marpatagonico.org/mar-patagonico/

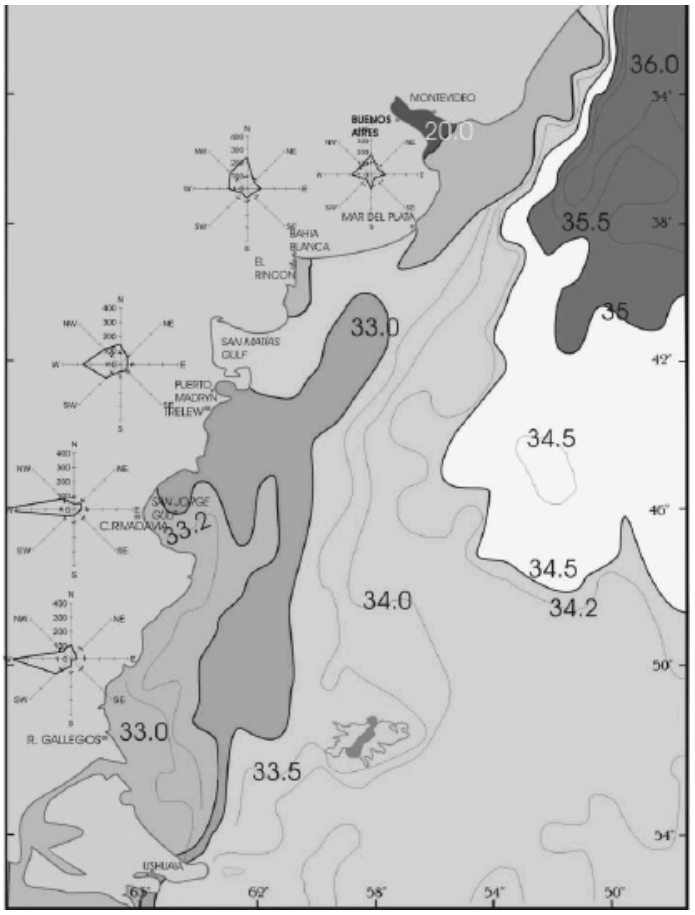

Figura 22. Distribución media anual de la salinidad superficial para el área. Se presentan rosas de viento para varias estaciones costeras a lo largo de Argentina. Nótese el predominio de los vientos del oeste a lo largo de la Patagonia.Fuente: Perillo *et al.* 2004.

En la Patagonia, existen áreas semicerradas con circulación particular, como el Golfo San Matías y el Golfo San Jorge (Glorioso y Flather, 1995; Palma *et al.* 2004). Estos golfos constituyen regiones de gran importancia oceanográfica y ecológica en la Plataforma Continental Argentina (Acha *et al.* 2004).

Dinámica costera e influencia de las mareas

La dinámica costera está principalmente forzada por mareas y vientos. La onda de marea se propaga de sur a norte a una velocidad de 13 m/s, provocando diferencias horarias en pleamares y bajamares según la región (Martos *et al.* 2004). La intensidad y persistencia de los vientos son la característica climática más sobresaliente de toda la región patagónica. Durante los meses de invierno, se presenta una circulación de vientos uniforme proveniente del oeste (Figura 21), mientras que en el verano se observa una débil componente zonal del flujo del aire superpuesta con el gradiente meridional. Este hecho contribuye a que los vientos estivales del oeste tengan un componente sur (oeste-sudoeste y sudoeste). (Consulplan, 2016).

Todas las playas presentan un régimen macromareal semidiurno, aunque difieren en la amplitud. Según la tabla de predicciones del Servicio de Hidrografía Naval para 2024, Las Grutas registró la mayor amplitud mareal 9,24 m (7,94 m en pleamar media de sicigia y 1,68 m la bajamar media), lo que implica una mayor variabilidad en la disponibilidad de hábitat intermareal a lo largo del ciclo de marea. Le siguió Playas Doradas con una amplitud máxima de 8,87 m (7,56 m y 1,86 m), luego Comodoro rivadavia con una amplitud máxima de 6,06 m (5,12 m y 1,07 m), Magagna con una amplitud máxima de 5,01 m (4,44 m y 1,04 m) y la más baja El Espigón con una amplitud máxima de 4,31 m (3,62 m y 0,78 m).

Discusiones:

La presente investigación constituye el primer estudio detallado sobre la estructura poblacional de *Bovichtus argentinus* en la costa Argentina, aportando información clave sobre la morfometría de sus otolitos y su diferenciación a lo largo de un gradiente latitudinal de más de 1000 km. Hasta ahora, la mayoría de los estudios sobre peces marinos en Argentina se han centrado en especies pelágicas de interés

pesquero, mientras que las especies bentónicas asociadas a intermareales rocosos han sido poco estudiadas.

En relación a la ecología de los peces y la relación con la forma del cuerpo y de los otolitos. Segun González Naya (2011), la combinación de cuerpo elongado, caudal redondeada tendiente a sublanceolada y otolitos alargados, indican un pez que es un buen nadador con capacidad de aceleración rápida, si bien la descripción del cuerpo y del otolito se puede asociar a *B. argentinus*, esta especie por su morfología externa, no parece ser una gran nadadora, pero si presenta una gran capacidad de maniobra rápida, que según Gonzalez Naya (2011) esta característica esta presente en peces de cuerpo orbicular, caudal redondeada y otolito subcircular a circular bien desarrollado, cosa que no encuadra con el otolito de *B. argentinus*. Por otro lado siguiendo a Volpedo y Echeverria (2003), la morfología del otolito de *B. argentinus* concuerda con la de peces que habitan fondos duros, con sagittas alargadas, bordes ornamentados y un rostro presente pero no muy prominente, en relación a este trabajo cabe destacarse que el rostro de los otolitos de *B. argentinus* analizados son bastante pronunciado, característica comúnmente asociada a peces pelágicos, según el trabajo de Volpedo y Echeverría.

Los resultados de los análisis multivariados evidencian diferencias morfométricas en los otolitos de *Bovichtus argentinus*, sugiriendo la existencia de al menos dos poblaciones diferenciadas a lo largo de la zona de estudio. Los ordenamientos obtenidos mediante Análisis Discriminante Lineal (LDA), utilizando variables morfométricas derivadas de Wavelets y Fourier, lograron altos porcentajes de clasificación correcta, evidenciando una diferenciación latitudinal en las poblaciones. En particular, se identificaron tres grupos principales: uno conformado por LG, PD y PM, mientras que PB y CR se agrupan de manera separada a lo largo de diferentes ejes.

El análisis PERMANOVA permitió evaluar la validez de estas agrupaciones. Se observó que esta herramienta no logra discriminar a PB del grupo LG, PD y PM, aunque sí logra diferenciar claramente a CR del resto. El valor de F y la probabilidad obtenida muestran que la hipótesis de 2 poblaciones es la que mejor se ajusta, donde hay una población al sur representada por los individuos capturados en CR y otra población al norte que engloba a todas las playas restantes. Sin embargo, otras

hipótesis indican que PB podría estar aislada o formando un grupo junto a LG (3 poblaciones totales), los ajustes de las mismas no permiten aseverar estas hipótesis, pero se debe incrementar el tamaño de la muestra e incluir poblaciones más septentrionales para confirmar esta posible separación.

La estructura poblacional identificada en *B. argentinus* puede compararse con las pocas especies marinas para las que se conoce la estructura espacial de sus stocks. Si se compara con el pejerrey marino (*Odontesthes argentinensis*), se puede observar que existe un stock que va desde Las Grutas hasta Monte Hermoso, incluyendo PB y además habría un stock al sur del Golfo San Matias en la zona de Puerto Lobos (Morawicki *et al.* 2022). Para el caso de *B. argentinus*, si bien PB y LG parecen compartir la misma población, al igual que en pejerrey, los resultados también indican que las localidades del sur PD y PM son una unidad poblacional con PB y LG. Esto contrasta con *O. argentinensis*, que presenta un corte norte y otra al sur dentro del golfo.

De forma similar, se puede comparar con la merluza común (*Merluccius hubbsi*), se ha identificado un stock pesquero unitario en el Golfo San Matías, separado de los stocks de la plataforma (Di Giácomo *et al.* 1993; González *et al.* 2007). Estos stocks de la plataforma se dividen en dos: uno bonaerense al norte y otro patagónico al sur. Sin embargo, esta segmentación tampoco se refleja en *B. argentinus*, donde PM que en Merluza es parte del stock patagonico en el Torito es parte del stock del Golfo San Matías, lo que resalta diferencias en la estructura poblacional de especies demersales y costeras en la región.

La particular oceanografía del Golfo San Matías, caracterizada por una estratificación térmica en primavera y verano que genera frentes en el norte y sur (Williams, 2011), ha sido asociada con diferencias en los stocks del pejerrey marino (Morawicki *et a*l. 2022). Sin embargo, en *B. argentinus* la estratificación no parece afectar la conectividad entre PB, LG, PD y PM, lo que sugiere que otros factores, como la influencia de la corriente patagónica en el sur del golfo (Tonini *et al*. 2006, 2010), podrían estar desempeñando un papel más relevante en la distribución de la especie y explicar la similitud entre las playas con las poblaciones del Golfo San Matías e incluso PM.

Asimismo, la distribución de las poblaciones de *B. argentinus* podría estar estructurada por factores oceanográficos y biogeográficos. Según las provincias biogeográficas marinas propuestas por Balech (1954) y López (1964), la provincia Argentina, que se extiende desde el sur de Brasil hasta el norte de la Patagonia, alcanza su límite sur unos kilómetros al sur de Playa Magagna. Esto coincide con los mapas de la provincia Magallánica presentados por Cousseau *et al.* (2019), lo que indica que PM es biogeográficamente más similar a las playas del norte que a las del sur.

Ahora bien, la diferenciación observada en CR con respecto a las demás localidades podría estar relacionada con factores oceanográficos y ambientales, así como con su ubicación en el extremo sur del gradiente latitudinal estudiado,o podría deberse a barreras ecológicas, oceanográficas y climáticas entre CR y PM, que aún no hemos podido esclarecer. La combinación de estos factores, sumada a la considerable distancia geográfica entre CR y los otros puntos de muestreo, podría estar contribuyendo a la segregación de la población de CR respecto a las demás. Sin embargo, se requieren más investigaciones para determinar con precisión su impacto en la estructuración poblacional de la especie.

En síntesis, los resultados obtenidos respaldan parcialmente la hipótesis planteada, ya que lo amplio y complejo de las poblaciones encontradas hacen difícil analizar qué procesos ambientales y oceanográficos están estructurando las poblaciones. Si bien se encontró evidencia de diferenciación poblacional en *Bovichtus argentinus* a lo largo del gradiente latitudinal estudiado, lo que indica la presencia de al menos dos grupos distintos. Esto sugiere que la estructura poblacional de peces costeros no responde únicamente a la proximidad geográfica o a la oceanografía de macroprocesos del Mar Argentino, sino a procesos más locales y costeros que aún requieren mayor investigación.

Dado que las zonas costeras son clave para la interacción entre el mar y las actividades humanas, además de ser hábitats de reproducción y conservación de especies marinas (Martínez *et al.* 2007), profundizar en estos procesos es fundamental. Aún quedan cuestiones por resolver, como la distribución exacta del stock de CR en la costa patagónica y hasta dónde se extiende hacia el sur el Stock del Golfo. También es necesario evaluar con mayor detalle la conexión entre PB, El

Rincón y la costa bonaerense, ya que la especie se distribuye hasta Mar del Plata y podría existir un stock diferenciado en esa región, como ocurre con otras especies costeras (ej. pejerreyes, corvinas y pescadilla).

La metodología utilizada en este estudio destaca la importancia de combinar métodos como LDA y PERMANOVA. Mientras que el LDA permite la generación de hipótesis sobre la estructura poblacional, el PERMANOVA tiende a encontrar las diferencias entre estas hipótesis. En este estudio, el grupo que mejor se ajustó según los parámetros fue el del Grupo 7 (dos poblaciones: una en PB, LG, PD y PM; otra en CR). Sin embargo, debido a la sensibilidad de PERMANOVA, otras configuraciones también resultaron significativas. Esto resalta la necesidad de mejorar los métodos de asignación de poblaciones, lo cual podría lograrse mediante técnicas de machine learning y big data (árboles de decisión o redes neuronales), como se ha propuesto en Vasconcellos *et al*. (2024). En conjunto, la integración de estas herramientas permitiría una evaluación más robusta de la diferenciación poblacional y contribuiría a una mejor comprensión de los procesos que estructuran las poblaciones de *B. argentinus* a lo largo de su gradiente latitudinal.

Dado que el Torito es una especie con baja dispersión en su fase adulta, su vulnerabilidad a impactos antropogénicos, como el desarrollo costero y la contaminación, podría ser mayor que en especies con mayor movilidad. Estos resultados destacan la importancia de estudios adicionales para confirmar la estructura poblacional y evaluar estrategias de conservación para esta especie costera, que presenta una biología y distribución poco conocida.

Finalmente, estos problemas que se muestran en la asignación de los sitios a las poblaciones plantean, que es necesario, en especies poco conocidas como la de este trabajo, un amplio muestreo de una gran parte de la distribución de la especie para la confirmación del número total de poblaciones donde se pueda analizar la variabilidad real y total de la especie y así unificar los puntos similares. Ya que la escala de trabajo puede afectar las conclusiones finales y el número real de poblaciones. Esto toma relevancia si consideramos que el análisis de los patrones espaciales es la base esencial para la comprensión o identificación de las escalas en las que los organismos interactúan entre sí o con el medio ambiente (Underwood y Chapman, 1996).

Consideraciones Finales.

Limitaciones del estudio

Si bien este estudio proporciona evidencia de diferenciación poblacional en *B. argentinus*, existen algunas limitaciones que deben considerar:

- El tamaño de la muestra podría ampliarse para mejorar la precisión de los análisis estadísticos.
- No se incluyen análisis genéticos , lo que impide confirmar si las diferencias observadas son producto de adaptación local o simplemente de plasticidad fenotípica.
- Los puntos de muestreo podrían extenderse a otras localidades , especialmente hacia el norte y el sur del área estudiada, para comprender mejor la estructura de las poblaciones.

Para futuros estudios:

- Aumentar el tamaño muestral para mejorar la discriminación de los grupos.
- Incorporar análisis de evaluación entre distancia geográfica y morfometría.
- Evaluar si factores ambientales o genéticos podrían estar influyendo en la diferenciación observada.
- Incluir puntos intermedios : Para ver si hay una transición gradual o un corte claro entre poblaciones.
- Sumar herramientas nuevas, machine learning y big data.

Conclusiones

1. *Bovichtus argentinus* presenta diferencias morfométricas en los otolitos a lo largo del gradiente latitudinal estudiado en la Patagonia, lo que sugiere la existencia de al menos dos poblaciones diferenciadas.
2. Las poblaciones de Comodoro Rivadavia muestran mayor diferenciación , lo que podría estar relacionado con su ubicación en un golfo distinto,la distancia a los otros puntos o con condiciones oceanográficas diferentes.

3. Las localidades dentro del Golfo San Matías presentan una mayor conectividad y similitud.
4. Factores oceanográficos y ambientales, como corrientes, zonas biogeográficas influyen en la estructuración de las poblaciones.
5. Para futuros estudios, se recomienda complementar los análisis morfométricos con datos genéticos y ampliar el muestreo a otras localidades, con el fin de confirmar la conectividad y diferenciación entre poblaciones.
6. Las poblaciones de B. argentinus en el gradiente estudiado presentan una amplia distribución.

El estudio de peces asociados al intermareal rocoso no solo permite entender su ecología y adaptaciones, sino que también aporta información crucial para la conservación y el manejo sostenible de los ecosistemas costeros. Son especies clave en la dinámica del intermareal y pueden ser indicadores tempranos de cambios ambientales , ayudando a detectar impactos humanos o efectos del cambio climático. Además, su estudio puede respaldar decisiones de conservación en áreas protegidas y zonas turísticas, garantizando un manejo sostenible de los recursos costeros. En la Patagonia, donde los ecosistemas intermareales rocosos son característicos y están expuestos a variabilidad climática y actividad humana creciente, entender a estos peces es fundamental para la gestión ambiental.

Bibliografía

Abaunza P., Murta A., Campbell N., Cimmaruta R., Comesaña A., Dahle G., García Santamaría M., Gordo L., Iversen S., MacKenzie K., Magoulas A., Mattiucci S., Molloy J., Nascetti G., Pinto A., Quinta R., Ramos P., Sanjuan A., Santos A., Stransky C. y Zimmermann C. (2008). Stock identity of horse mackerel (Trachurus trachurus) in the Northeast Atlantic and Mediterranean Sea: Integrating the results from different stock identification approaches. Fisheries Research, 89: 196-209.

Acha, E.M., Mianzan, H.W., Guerrero, R.A., Favero, M., y Bava, J. (2004). Frentes marinos en las plataformas continentales de Sudamérica austral: procesos físicos y ecológicos. Journal of Marine systems , 44 (1-2), 83-105.

Anderson,M.J. (2017). Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). In Wiley StatsRef: Statistics Reference Online; Balakrishnan, N., Colton, T., Everitt, B., Piegorsch, W., Ruggeri, F., Teugels, J.L., Eds.; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA; pp. 1–15, ISBN 9781118445112.

Angulo, R. J. (2004). Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. Desenvolvimento E Meio Ambiente, 10. https://doi.org/10.5380/dma.v10i0.3107

Annabi, A., Said, K. y Reichenbacher, B. (2013). Inter-population differences in otolith morphology are genetically encoded in the killifish Aphanius fasciatus (Cyprinodontiformes). Scientia Marina, 77(2), 269-279.

Arthington, A. H., Dulvy, N. K., Gladstone, W., y Winfield, I. J. (2016). Fish conservation in freshwater and marine realms: status, threats and management. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 26(5), 838-857.

Avigliano, E. (2014). Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa Atlántica de Sudamérica. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Avigliano, E.; Martinez, C.F.R. y Volpedo, A.V. (2014). Combined Use of Otolith Microchemistry and Morphometry as Indicators of the Habitat of the Silverside (Odontesthes bonariensis) in a Freshwater-Estuarine Environment. Fisheries Research,149, 55–60.

Avigliano, E., Fortunato, R. C., Biolé, F., Domanico, A., Simone, S. D., Neiff, J. J. y Volpedo, A. V. (2016). Identification of nurseries areas of juvenile Prochilodus lineatus (Valenciennes, 1836)(Characiformes: Prochilodontidae) by scale and otolith morphometry and microchemistry. Neotropical Ichthyology, 14, (03).

Balech, E. (1954). División zoogeográfica del litoral sudamericano. Revista de Biología Marina, 4(1–3), 184–195.

Bastida, R., Roux, A. y Martínez,D.E. (1992). Comunidades bentónicas de la plataforma continental argentina. Acta Oceanologica Sinica, 15, 687–698.

Begg, G. A., Friedland, K. D. y Pearce, J. B. (1999). Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. Fisheries research, 43(1-3), 1-8.

Begg, G. y Waldman, J.R. (1999). An holistic approach to fish stock identification. Fisheries Research, 43: 35–44.

Biolé, F.G., Thompson, G.A., Vargas, C.V., Leisen, M., Barra, F., Volpedo, A.V. y Avigliano, E. (2019). Poblaciones de peces de Urophycis brasiliensis reveladas por la huella y forma de los otolitos en el océano Atlántico suroccidental. Estuarine, Coastal and Shelf Science , 229 , 106406.

Bodnariuk, N. (2022). Estudio de la variabilidad interanual de la circulación en la plataforma continental del Atlántico Sudoccidental: una perspectiva orientada a la comprensión de los procesos físicos y las interacciones entre la plataforma y las componentes del sistema climático de gran escala.Tesis Doctoral, de la Universidad de Buenos Aires en el área de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.

Bravo, R., Lloris, D., Pequeño, G., y Rucabado, J. (1999). Revisión de las distintas especies del género Bovichtus (Perciformes, Bovichtidae) citadas para el cono sur americano y península Antártica.

Brandini, F. P., Boltovskoy, D., Piola, A., Kocmur, S., Röttgers, R., Abreu, P. C. y Lopes, R. M. (2000). Multiannual trends in fronts and distribution of nutrients and chlorophyll in the southwestern Atlantic (30–62 S). Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 47(6), 1015-1033.

Brandhorst W. y Castello, J.P. (1971).Evaluación de los recursos de anchoíta (Engraulis anchoita) frente a la Argentina y Uruguay I: Las condiciones oceanográficas, sinopsis del conocimiento actual sobre la anchoita y el plan para su evaluación, Proyecto de Desarrollo Pesquero Publicación Nº 29 Serie Informes Técnicos, 63 pp.

Broitman, B. R., Blanchette, C. A., Menge, B. A., Lubchenco, J., Krenz, C., Foley, M., Raimondi, P. T., Lohse, D. y Gaines, S. D. (2008) Spatial and temporal patterns of invertebrate recruitment along the west coast of the United States. Ecological Monographs, 78, 403–421.

Borja, A., Elliott, M., Andersen, J.H., Berg, T., Carstensen, J., Halpern, B.S., Heiskanen, A., Korpinen, S., Stewart Lowndes, J., Martin, G. y Rodríguez-Ezpeleta, N. (2016). Panorama general de la evaluación integradora de los sistemas marinos: el enfoque ecosistémico en la práctica. Fronteras en las ciencias marinas , 3 , 20.

Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series, 188: 263−297

Carlström, P. (1963). A crystallographic study of vertebrate otolith. The Biological bulletin (Woods Hole), 125: 441-463.

Cinner, J. E., Huchery, C., MacNeil, M. A., Graham, N. A., McClanahan, T. R., Maina, J. y Allison, E. H. (2016). Bright spots among the world's coral reefs. Nature.

Consulplan. (2016). Construcción de Planta de Corte Intermedio GBK e Instalaciones asociadas. Informe ambiental del proyecto, para el Yacimiento Manantiales Behr, Provincia de Chubut.

Cousseau, M. B., Nion, H., Denegri, M. A. y Olivera, S. (1998). Lista de peces de la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya. Frente Marítimo, 17, 123-151.

Cousseau, M. B., A. E. Gosztonyi, I. Elías y M. E. Ré. (2004). Estado actual del conocimiento de los peces de la plataforma continental argentina y adyacencias. En: Sánchez, R. y S. I. Bezzi (eds.). El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4. Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación, INIDEP, pp. 17-38.

Cousseau, M. B., Pequeño, G., Mabragaña, E., Lucifora, L. O., Martínez, P., y Giussi, A. (2019). The Magellanic Province and its fish fauna (South America):

Several provinces or one?. Journal of Biogeography, 47(1), 220-234.

De Carvalho, B.M., Volpedo, A.V. y Fávaro, L.F. (2020). Variación ontogenética y sexual en el otolito Sagitta de Menticirrhus americanus (Teleostei; Sciaenidae) (Linnaeus, 1758) en un ambiente subtropical. Papéis Avulsos de Zoología, 60 , 1–12.

Delpiani, S. M. 2010. Torito Bovichthus argentinus. En: Irigoyen, A. J. y D. E. Galván (eds.). Peces de arrecifes argentinos. CENPAT y Parques Nacionales, 38 p.

Di Giácomo, E. E., Calvo,J., Perier, M. R. y Morriconi, E. (1993). Spawning aggregations of Merluccius hubbsi, in Patagonian waters: evidence for a single stock? Fisheries Research 16(1):9-16.

Díaz de Astarloa, J. M. (2016). Peces Marinos de la Costa Bonaerense.

Garzoli, S. L. y Garraffo, Z. (1989). Transports, frontal motions, and eddies at the BrazilMalvinas Currents Confluence. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 36(5), 681-703.

Gauldie, R. W. (1993). Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. Journal of Morphology, 218: 1-28.

Glorioso, P. D. y Flather,R. A.(1995). A barotropic model of the currents off SE South America, Journal of Geophysical Research, 100:13,427– 13,440.

González, R. A., Narvarte,M. A. y Caille, G. M. (2007). An assessment of the sustainability of the hake Merluccius hubbsi artisanal fishery in San Matías Gulf, Patagonia, Argentina. Fisheries Research 87(1):58-67.

González Naya, M.(2011). Influencia de factores ambientales sobre el otolito de Australoheros facetus (Pisces, Cichlidae) y algunas comparaciones con otras especies Neotropicales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires

Guerrero, R.A. y Piola, A.R. (1997). Masas de agua en la plataforma continental. En El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros. Boschi EE, ed., Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina Vol I, págs. 107–118.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, 4, 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

InfoStat (2008). InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

INIDEP. (1998). María B. Cousseau y Ricardo G. Perrotta. Peces Marinos de Argentina. Mar del Plata.

Irigoyen, A., Trobiani, G. y Galvan, D. (2018). Peces de arrecife y ambientes de

buceo argentinos.Remitente Patagonia,Chubut,Argentina. 144p.

Johnson, D. W., Christie, M. R., Pusack, T. J., Stallings, C. D. y Hixon, M. A. (2018). Integrating larval connectivity with local demography reveals regional dynamics of a marine metapopulation. Ecology, 99(6), 1419-1429. https://doi.org/10.1002/ecy.2343

Kritzer, J. P. y Sale, P. F. (2004). Metapopulation ecology in the sea: from Levins' model to marine ecology and fisheries science. Fish and Fisheries, 5(2), 131-140. https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2004.00131.

Koeberle, A. L., Arismendi, I., Crittenden, W., Di Prinzio, C., Gomez-Uchida, D., Noakes, D. L. y Richardson, S. (2020). Otolith shape as a classification tool for Chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) discrimination in native and introduced systems. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 77(7), 1172-1188.

La Mesa, M. y Eastman, JT (2012). Primeros datos sobre edad y madurez sexual del pez klip de Tristan, Bovichtus diacanthus (Bovichtidae) de Tristan da Cunha, Atlántico Sur. Ciencia Antártica , 24 (2), 115-120.

Lecointre, G., Bonillo, C., Ozouf-Costaz, C. y Hureau, J.C. (1997). Evidencia molecular de los orígenes de los peces antárticos: parafilia de Bovichtidae y ninguna indicación de la monofilia de Notothenioidei (Teleostei). Biología polar , 18 , 193-208.

Libungan, L.A. y Pálsson, S. (2015). ShapeR: An R Package to Study Otolith Shape Variation among Fish Populations. PLoS ONE 2015, 10, e0121102.

López, R. B. (1964). Problemas de la distribución geográfica de los peces marinos suramericanos. Boletín del Instituto de Biología Marina, 7, 57–63.

Lucas A.J., Guerrero R.A., Mianzan H.W., Acha E.M., Lasta C.A. (2005). Coastal oceanographic regimes of the Northern Argentine Continental Shelf (34-43 °S). Estuarine, Coastal and Shelf Science 65 (3): 405 - 420.

Neves, J.; Silva, A.A.; Moreno, A.; Veríssimo, A.; Santos, A.M. y Garrido, S. (2021). Population Structure of the European Sardine Sardina pilchardus from Atlantic and Mediterranean Waters Based on Otolith Shape Analysis. Fisheries Research. 243, 106050.

Marcinkevicius, M., Parra, G. y Fiedorowicz Kowal, M. (2012). Dieta de Bovichthus argentinus (Perciformes, Bovichtidae) en el área central del Golfo San Jorge. VIII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar. Comodoro Rivadavia, Resúmenes Pág. 77.

Martínez, M.L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P. y Landgrave,R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance.Ecological Economics, Volume 63, Issues 2–3,Pages 254-272,ISSN 0921-8009, https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022.

Marshall, D. J., Monro, K., Bode, M., Keough, M. J. y Swearer, S. (2010). Phenotype–environment mismatches reduce connectivity in the sea. Ecology letters,

13(1), 128-140.

Martos, P., Reta, R. y Guerrero, R. (2004). El ambiente físico de las costas marplatenses: su clima y sus aguas. La vida entre mareas: vegetales y animales de las costas de Mar del Plata, Argentina. 29-42.

Matano R. P., Schlax M. G. y Chelton D. B. (1993). Seasonal variability in the southwestern Atlantic. Journal of Geophysical Research 98: 18027–18035.

Montero, A. E. L., y Brito, M. S. (2019). Distribución espacial de macroinvertebrados bentónicos móviles en el intermareal rocoso de San Lorenzo, Ecuador. La Técnica, (21), 17-30.

Morawicki S., Solimano P., y Volpedo A. (2022). "Unravelling Stock Spatial Structure of Silverside Odontesthes argentinensis (Valenciennes, 1835) from the North Argentinian Coast by Otoliths Shape Analysis" Fishes 7, no. 4: 155.

Moring J. (2005). “Seasonal presence of tidepool fish species in a rocky intertidal zone of northern California, USA”. Springer Netherlands. 134, p 21-27

Near, T. J., Ghezelayagh, A., Ojeda, F. P., y Dornburg, A. (2019). Recent diversification in an ancient lineage of Notothenioid fishes (Bovichtus: Notothenioidei). Polar Biology, 42, 943-952.

Orensanz, J. M., Parma, A. M. y Hall, M. A. (1998). The analysis of concentration and crowding in shellfish research. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 143-158.

Orensanz, J. L., Parma, A. M., Turk, T. y Valero, J. (2006). Dynamics, assessment and management of exploited natural populations. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 35, 765-868.

Orensanz, J. M., Bogazzi, E., y Parma, A. M. (2008). Impacto de la pesca sobre el subsistema bentónico. Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia (2008). Estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia–versión electrónica.

Palma, E.D., Matano,R.P. y Piola, A.R.(2004), Three dimensional barotropic response of the southwestern Atlantic shelf circulation to tidal and wind forcing, Journal of Geophysical Research, 109, C08014, doi:10.1029/2004JC002315. 248

Park, L. y Moran, P. (1994). Desarrollos en técnicas de genética molecular en la pesca. Reviews in Fish Biology and Fisheries , 4 , 272–299.

Pequeño, G., Farías, D., Thiel, M. y Hinojosa, I. (2004). Peces asociados con la deriva de macroalgas en Aysén, Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, *39*(2), 93-99.

Perillo, G., Piccolo,M. y Marcovecchio,J. (2004). Oceanografía costera de la plataforma continental del Atlántico sur occidental (33° a 55°S). En: The Sea. The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses, AR

Robinson, KH Brink (eds), Vol.14 – Part A, Ch.9, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, EE. UU., págs. 295-327. (ISBN- 0-674-01527-4)

Piola A. R. y Matano R. P. (2001). Brazil and Falklands (Malvinas) currents. Ocean currents: a derivative of the encyclopedia of ocean sciences, 35-43.

Piola A. R. y Rivas A. (1997). Corrientes en la plataforma continental. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros 1: 119-132.

Popper, A.N., Ramcharitar, J. y Campana, S.E. (2005) ¿Por qué otolitos? Perspectivas desde la fisiología del oído interno y la biología pesquera. Marine and Freshwater Research , *56* , 497–504.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

Rodrigues, A. M. T., (2009). A Gestão Ambiental e a Zona Costeira: Como operar nesta área complexa, onde se sobrepõem tantos usos e conflitos? CEPSUL/IBAMA. Contrapontos.

Savolainen, O., Lascoux, M. y Merilä, J. (2013). Ecological genomics of local adaptation. Nature Reviews Genetics, 14(11), 807-820. https://doi.org/10.1038/nrg3522.

Scasso L. y Piola, A. (1988). Intercambio neto de agua entre el mar y la atmósfera en el Golfo San Matías, Oceanologica Acta 15(1): 13-31.

Servicio de Hidrografía Naval, 2024. Tablas de marea. Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires.

Sponaugle, S., Cowen, R. K., Shanks, A., Morgan, S. G., Leis, J. M., Pineda, J., Boehlert, G. W., Kingsford, M. J., Lindeman, K. C., Grimes, C. y Munro, J. L. (2002). Predicting self-recruitment in marine populations: biophysical correlates and mechanisms. Bulletin of Marine Science, 70(1), 341-375.

Stephenson, T.A. y Stephenson, A. (1949). The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts. The Journal of Ecology, 37: 289-305.

Tittensor, D. P., Mora, C., Jetz, W., Lotze, H. K., Ricard, D., Vanden Berghe, E. y Worm, B. (2010). Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. Nature, 466, 1098–1101.

Tonini M.H. (2010). Modelado Numérico del Ecosistema de los Gofos Norpatagónicos. Tesis de Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 255p.

Tonini M., Palma, E. y Rivas, A. (2006). Modelo de alta resolución de los golfos patagónicos. En: Alberto Cardona, Norberto Nigro, Victorio Sonzogni, Mario Storti. (Eds.). Mecánica Computacional. Volumen XXV: 1441-1460. 42.

Tombari, A.D., Volpedo, A.V. y Echeverria, D.D.(2005). Desarrollo de La Sagitta En Juveniles y Adultos de Odontesthes argentinensis (Valenciennes, 1835) y O. bonariensis (Valenciennes, 1835) de La Provincia de Buenos Aires, Argentina (Teleostei: Atheriniformes). Revista Chilena de Historia Natural , 78 , 623–633.

Torres, AI, Paparazzo, FE, Williams, GN, Rivas, AL, Solís, ME, y Esteves, JL (2018). Dinámica de macronutrientes en el Golfo San Jorge durante primavera y verano. Oceanografía , 31 (4), 25-32.

Tracey, S.R.; Lyle, J.M. y Duhamel, G.(2006). Application of Elliptical Fourier Analysis of Otolith Form as a Tool for Stock Identification. Fisheries Research , 77, 138–147.

Tuset, V.M., Lozano, I.J., GonzÍez, J.A., Pertusa, J.F. y García-Díaz, M.M. (2003). Índices de forma para identificar diferencias regionales en la morfología de los otolitos del cabrilla, Serranus cabrilla (L., 1758). Journal of Applied Ichthyology , 19 , 88–93.

Underwood, A. J. y Chapman, M. G. (1996). Scales of Spatial Patterns of Distribution of Intertidal Invertebrates. Oecologia, Vol. 107, 2: 212-224.

Vasconcelos, J., Otero-Ferrer, J.L., Lombarte, A., Ruzafa Jurado, A., Manjabacas A. y Tuset, V.(2024). Choosing wavelet methods for otolith contour studies. Reviews in Fish Biology and Fisheries 35 , 201–216. https://doi.org/10.1007/s11160-024-09896-6

Villar Montalt, A. (2018). Análisis morfométrico de otolitos como herramienta de trazabilidad de doradas (Sparus aurata) escapadas en Canarias. Tesis de grado. Universidad de Alicante. Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada

Volpedo, A. y Echeverria, D.D. (2003). Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentine. Fisheries Research, 60, 551–560

Volpedo, A. V., Miretzky, P. y Fernández Cirelli, A. (2006). Stocks pesqueros de Cynoscion guatucupa y Micropogonias furnieri (Pisces, Sciaenidae), en la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 165, 115-130.

Volpedo, A., y Fernandez Cirelli, A. (2006). Otolith chemical composition as a useful tool for sciaenid stock discrimination in the south-western Atlantic. Scientia Marina, 70 , 325–334.

Volpedo, A.V. y Vaz-dos-Santos, A.M.(2015). Métodos de Estudios Con Otolitos: Principios y Aplicaciones; INPA CONICET UBA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Volpedo A.V., Thompson G.A., Avigliano E.(2017). Atlas de otolitos de peces de Argentina. Buenos Aires: CAFP-BACAPES. 41 p.

Warner, R. R., y Cowen, R. K. (2002). Local retention of production in marine

populations: evidence, mechanisms, and consequences. Bulletin of Marine Science, 70(1), 245-249.

Whitfield, A. K., y Elliott, M. (2002). Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future. Journal of fish biology, 61, 229-250.

Williams, G. (2011). Caracterización ambiental del golfo San Matías mediante sensores remotos y parámetros oceanográficos. Relación con la distribución y abundancia de los recursos biológicos de interés pesquero. Tesis de Doctorado en Biología. Universidad Nacional del Comahue. Puerto Madryn. 299p.