

## Características físico-químicas y ficológicas de dos lagunas naturales de la ciénaga Cienfuegos, ciénaga de Zapata

### Physicochemical and physiological characteristics of two natural lakes Cienfuegos Swamp, Zapata Swamp

Yeny Labaut,<sup>1</sup> Ángel R. Moreira,<sup>1</sup> Carmen R. Betancourt,<sup>2</sup> Liliana Toledo<sup>1</sup> y Augusto A. Comas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Calle 17 esq. Ave 46 s/n, Reparto Reina, Cienfuegos, CP 55100, Cuba, E-mail: labaut@gestion.ceac.cu

<sup>2</sup> Universidad de Cienfuegos. Carretera a Rodas km 3, CP 59430, Cienfuegos, Cuba

#### RESUMEN

Una de las amenazas principales a la biodiversidad y otros recursos naturales de la península de Zapata es la contaminación química de sus aguas. Para esta investigación se seleccionaron dos lagunas naturales de este ecosistema (Albertico y Las Piedras), ubicadas cerca del poblado Covadonga, Cienfuegos. La laguna Albertico está expuesta al riego de residuales del complejo de industrias ubicado en el poblado, que incluye una destilería de alcohol. La laguna Las Piedras, alejada del efecto de estos contaminantes, se caracteriza por gran variabilidad de su volumen de agua. Este estudio estuvo dirigido a la caracterización de las variables físico-químicas y del fitoplancton de las lagunas mencionadas, expuestas a diferentes grados de influencia antrópica. Las muestras se tomaron en julio y noviembre de 2008 y febrero de 2009. Las características físico-químicas del agua de la laguna Albertico, así como su microflora algina, incluyendo la presencia de algas tóxicas, fueron típicas de acuatorios ambientalmente deteriorados. La laguna Las Piedras manifestó mejor calidad del agua, en cuanto a los parámetros físico-químicos, algológicos, índices de eutrofización y saprobididad. Todas las variables fueron además dependientes del régimen hidrológico, y las mayores afectaciones se produjeron para los niveles más bajos de agua.

*Palabras clave:* lagunas naturales, fitoplancton, saprobididad, eutrofización.

#### ABSTRACT

One of the main threats to biodiversity and to other natural resources of the Peninsula of Zapata is the chemical pollution of its waters. Albertico and Las Piedras natural ponds of this ecosystem, selected for this search, are located in the proximity of Covadonga town. The Albertico pond is near the irrigation area of residuals coming from the industrial complex located in the town, including an alcohol distillery and it is exposed to this area too. Las Piedras pond is characterized by a great variability of its water volume. The aim of this study was to characterize the physical-chemical variables and the phytoplankton of such ponds, exposed to different anthropogenic levels. The samples were taken in July and November, 2008 and February, 2009. The physical-chemical characteristics of the water from the Albertico pond as well as their algae microflora, including the presence of toxic species, were typical of freshwaters deteriorated by environmental conditions. Las Piedras pond showed better water quality, according to its physical-chemical and algological composition, as well as its eutrophic and saprobiological indexes. All these variables were also dependent on the hydrological regimen, and the greatest affectations took place for the lowest levels of water.

*Keywords:* natural ponds, phytoplankton, saprobity, eutrophication.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos son particularmente vulnerables a los cambios ambientales, por lo que son integradores y centinelas de estos cambios, tanto a escala local como global (Williamson *et al.*, 2008). El conocimiento de las condiciones físico-químicas del agua, unido al de la

biodiversidad de algas y cianoprocaritas (cianobacterias) de ambientes lénticos, permite implementar medidas de preservación y manejo de este recurso (De Souza, 2008; Segura-García *et al.*, 2012).

Las lagunas de la localidad de Covadonga pertenecen a la ciénaga Cienfuegos, uno de los tres tramos en que, desde el punto de vista hidrológico, se divide el ecosistema ciénaga de Zapata (Petrova *et al.*, 2007) y pueden ser

inóculo de la ciénaga Oriental. Este ecosistema fue declarado Reserva de la Biosfera desde el año 2000 y Sitio Ramsar desde el 2001.

La contaminación química del agua de la península de Zapata es una de las amenazas principales a su biodiversidad y a otros de sus recursos naturales. Algunas de estas lagunas están directamente expuestas a los residuales líquidos del complejo industrial Antonio Sánchez (producción de alcohol, torula y azúcar), pero han sido poco estudiadas desde el punto de vista físico-químico, ni biológico, específicamente de la microflora algina, que tanta importancia tiene dentro del campo de conocimiento de los bioindicadores. Por ello esta investigación estuvo dirigida a la caracterización físico-química del agua y de la composición de especies algales y cianobacteriales de dos lagunas naturales de la ciénaga Cienfuegos, expuestas a diferente influencia antrópica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el humedal ubicado en la localidad de Covadonga, Cienfuegos, Cuba. Se seleccionaron dos lagunas: Albertico y Las Piedras (Fig. 1). La primera, a diferencia de la segunda se encuentra expuesta al riego de los residuales, parcialmente tratados del complejo de industrias Antonio Sánchez. Para el análisis de las variables físico-químicas se tomaron muestras puntuales de 2 L del agua subsuperficial (0,15 m de profundidad), en los meses de julio y noviembre de 2008 y febrero de 2009, y se almacenaron refrigeradas hasta su análisis al día siguiente de su colecta. El muestreo y los ensayos se realizaron según los procedimientos del Laboratorio del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos de acuerdo con las especificaciones de APHA (1998). En todos los casos se usaron muestras sin filtrar.

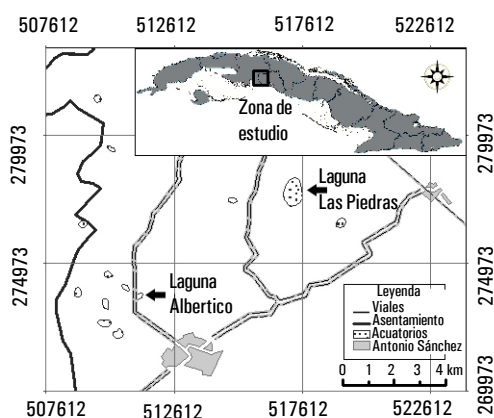


Fig. 1. Lagunas Albertico y Las Piedras dentro del sistema de lagunas de la Ciénaga Cienfuegos

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal  $N-(NH_4)^+$  se analizaron por medio de la formación de indofenol azul. El nitrógeno de nitrito  $N-(NO_2)^-$  se cuantificó por medio de la formación de un compuesto diazo altamente coloreado del ión nitrito con la sulfanilamida, y el dicloruro de  $N-(1\text{-naftil})\text{-etilendiamina}$ . El nitrógeno de nitrato  $N-(NO_3)^-$  por reducción con hidracina. El nitrógeno inorgánico total  $Ni_T$  se determinó como la suma de nitrógeno de todos los compuestos nitrogenados.

El fósforo de ortofosfato  $P-(PO_4)^{3-}$  se cuantificó por formación de un complejo con molibdato de amonio y tartrato de antimonio, posteriormente reducido con ácido ascórbico. Para la cuantificación del fósforo total ( $P_T$ ), todas las formas de fósforo fueron convertidas a ortofosfato, previa oxidación de las muestras con persulfato de amonio en medio ácido. La clorofila *a* se midió por el método de fluorescencia con un florímetro marca: TD 700 Turner DEFINES.

La temperatura se midió mediante el principio de termopares, el pH y la conductividad eléctrica con un potenciométrico, según el manual del equipo HANNA HI 9025-C y el oxígeno disuelto por el método de Winkler. Estas variables fueron medidas *in situ*.

Los porcentajes de saturación de oxígeno disuelto se calcularon a partir de la solubilidad del oxígeno en función de la temperatura y la salinidad (APHA, 1992). Esta variable se usó para describir cualitativamente la calidad del agua según la clasificación de Lynch & Poole (1979).

La demanda química de oxígeno se determinó por oxidación con dicromato de potasio con un límite de cuantificación de 40 mg/L. La demanda bioquímica de oxígeno se calculó mediante la diferencia del oxígeno disuelto calculado antes y después de una incubación refrigerada a 20 °C, durante 5 días. Se utilizó el índice de evaluación del estado trófico apropiado para las zonas tropicales propuesto por Toledo *et al.* (1983) y se determinó el nutriente limitante según Morris & Lewis (1988).

Para las muestras biológicas se tomó un litro de agua, fijada con lugol ácido y posterior sedimentación. Se usó una cámara de conteo Rigosha en un microscopio biológico OLYMPUS BH-2 y se expresó la concentración de organismos en células por litro. Para la caracterización de la flora algal y cianobacterial del plancton se utilizaron muestras fijadas con formalina al 3 %. Se calcularon dos índices para evaluar biológicamente la comunidad algina: el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (1963) y el índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) (1977).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Comportamiento de las variables físico-químicas en la etapa de estudio*

La variabilidad observada en la conductividad eléctrica de ambas lagunas se corresponde con el carácter

intermitente de estos acuatorios, dependientes de las precipitaciones (TABLA 1). La laguna Albertico mostró menos variación en sus niveles de agua que Las Piedras, la que tuvo cambios notables: en julio fueron muy bajos, en noviembre grandes volúmenes por las intensas lluvias del período y en febrero ocurrió un ligero descenso del nivel del agua de la laguna. En general la variación

observada influyó en el comportamiento de las variables físico-químicas, especialmente en la conductividad eléctrica, la cual según Serruya & Pollinger (1983), calificó a la laguna Albertico entre ligeramente salina y salina (TABLA 1). Las Piedras tuvo en general, menores valores y su clasificación estuvo entre no salina y salina.

TABLA 1. Variables físico-químicas del agua de las lagunas Albertico y Las Piedras en julio y noviembre, 2008 y febrero, 2009

Variables	Julio, 2008		Noviembre, 2008		Febrero, 2009	
	Laguna Albertico	Laguna Las Piedras	Laguna Albertico	Laguna Las Piedras	Laguna Albertico	Laguna Las Piedras
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1100	592	392	322	580	201
Fósforo total (mg/L)	0,070	0,130	0,020	0,040	0,300	0,020
Nitrógeno inorgánico Total (mg/L)	0,002	0,163	0,002	0,064	0,006	0,016
DQO (mg/L)	76,0	< LC*	< LC*	< LC*	41,6	< LC*
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2,6	3,0	1,0	2,6	9,8	3,4
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,93	1,68	4,99	5,51	4,70	7,38
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto	65,0	22,1	60,4	66,7	54,1	81,2
pH	7,36	7,10	6,37	6,63	6,76	6,52
Temperatura (°C)	30,1	27,1	26,1	26,6	23,7	21,1

\* <LC: valores inferiores al límite de cuantificación de los equipos empleados

Los mayores valores de este parámetro para la laguna Albertico, con respecto a Las Piedras (TABLA 1), se pueden explicar por el aporte de constituyentes iónicos que produce la mineralización de la materia orgánica (Hem, 1985), que posee elevada carga en residuales de este tipo (Sandoval, 2006) como son los que recibe del complejo industrial de Covadonga.

Estos desechos líquidos procedentes de la fabricación de alcohol tienen además un alto contenido de nitrógeno y fósforo (Sandoval, 2006), a lo que puede deberse las concentraciones de  $\text{P}_7$  en la laguna Albertico superiores (0,020-0,300 mg/L) a Las Piedras (0,020-0,130 mg/L) (TABLA 1).

Todo el  $\text{Ni}_7$  estuvo en forma de nitrito y registró bajas concentraciones (0,002-0,006 mg/L) (TABLA 1), a pesar de los aportes de residuales ricos en nitrógeno. Es probable que en esta laguna hayan ocurrido procesos de desnitrificación, en los cuales se transforman las especies iónicas en la forma molecular más sencilla ( $\text{N}_2$ ). En Las Piedras se pudo cuantificar las tres especies de  $\text{Ni}_7$  y registró mayores concentraciones (0,016-0,163 mg/L), con una ligera tendencia a la disminución (TABLA 1). Este nitrógeno pudo incorporarse por la descomposición de las plantas que quedaron cubiertas por el agua de la anterior etapa lluviosa. El nitrógeno de nitrito siempre se cuantificó, aunque con bajos valores. El nitrógeno amoniacal fue la

especie que más aportó en los meses de julio y noviembre, cuando se registraron los valores más altos de  $Ni_{7r}$ , lo que se atribuye a la mineralización del nitrógeno orgánico procedente de la descomposición de las plantas (Medina-Gómez & Herrera-Silveira, 2006).

La temperatura en Albertico (23,7- 30,1 °C) fue ligeramente superior respecto a Las Piedras (21,1-27,1 °C), pero

sin grandes variaciones y dentro del intervalo descrito para aguas interiores (Chapman, 1996). Los valores del pH fueron variables, lo que se corresponde con lo esperado para pequeños acuatorios (Kramer & Lange-Bertalot, 1986) (TABLA 1). Los valores ligeramente ácidos encontrados en noviembre y febrero, correspondieron con la presencia de desmidiáceas, las cuales prefieren estas aguas (Comas, 2008) (Fig. 2).

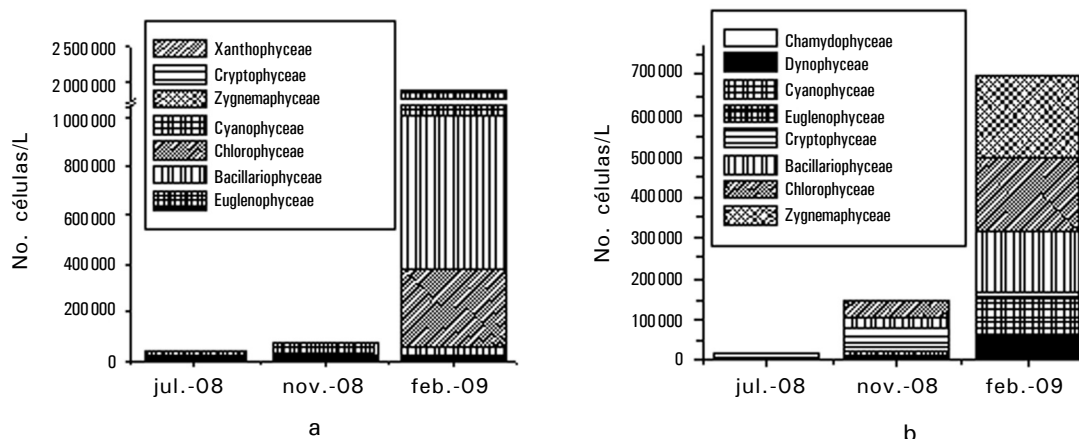


Fig. 2. Composición y abundancia por clases en las lagunas Albertico (a) y Las Piedras (b), en julio y noviembre, 2008 y febrero, 2009

La contaminación orgánica en la laguna Albertico se reveló en los valores de los meses julio y febrero de la  $DBO_5$  (2,6 y 9,8 mg/L) y la  $DQO$  (76,0 y 41,6 mg/L) (TABLA 1). Los bajos valores de ambas variables en noviembre guardaron relación con las abundantes precipitaciones lo cual diluyó la materia orgánica. La diferencia observada entre  $DBO_5$  y  $DQO$  en el mes de julio se relacionó con el carácter poco biodegradable de la materia orgánica presente en este mes. El residual que llega a la laguna no tiene siempre el mismo tratamiento, en algunas ocasiones proviene de los canales del sistema de riego, que ha pasado un proceso más fuerte de degradación (con valores de  $DBO_5$  y  $DQO$  muy diferentes) y en otras directamente de canales que alimentan las lagunas de estabilización del complejo industrial (es decir diferencias menos marcadas entre los valores de  $DQO$  y  $DBO_5$ ). En la laguna Las Piedras los valores de  $DQO$  fueron inferiores al límite de cuantificación (40 mg/L) y la  $DBO_5$  indicó una ligera contaminación orgánica (2,6-3,4 mg/L) (TABLA 1).

Los valores de porcentaje de saturación de oxígeno en la laguna Albertico (54,1-65,0) clasificaron el agua, como de calidad dudosa en los tres muestreos (Tabla 1), según el criterio de Lynch & Poole (1979). La descarga de residuales con materia orgánica disminuye la concentración de oxígeno disuelto en el agua como resultado del incremento de la respiración microbiana que ocurre

durante su degradación (Fuentes & Massol-Deyá, 2002). Los bajos valores de oxígeno disuelto afectan de forma negativa la funcionalidad de las comunidades biológicas (Chapman, 1996).

La laguna Las Piedras tuvo variabilidad en el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto: contaminada (22,1 %), dudosa (66,7 %) y regular (81,2 %), aumentando el valor de la variable en cada muestreo (TABLA 1). Las bajas saturaciones coincidieron con los bajos niveles de agua en la laguna cuando además el nitrógeno amoniacal, especie consumidora de oxígeno (Hem, 1985), registró las concentraciones más altas.

### Características de la flora de microalgas y cianoprocarotas

La mayor abundancia de Euglenophyceae en la laguna Albertico (Fig. 2a), con respecto al resto de las clases de algas en los muestreos, puede ser por su exposición a los residuales líquidos industriales. Los fitoflagelados y fundamentalmente las euglenofíceas son indicadoras por sus preferencias ecológicas, de aguas contaminadas con alto contenido de materia orgánica (Comas, 2008).

En Las Piedras se apreció una mejor representación de todos los grupos, con alguna predominancia de Chlorophyceae en los tres muestreos; Cryptophyceae y

Euglenophyceae en julio y noviembre de 2008 y de Zygnemaphyceae en febrero de 2009. Este último grupo predominó específicamente en el mes de mejores condiciones hidrológicas (febrero), lo que corresponde con aguas de mejor calidad. Por ejemplo las Desmidiales Zygnemaphyceae son típicas de aguas de buena calidad y reconocidas en la clasificación del estado trófico de los cuerpos de agua dulce (Bourrelly, 1972).

De las cianoprocariontes detectadas, las especies *Anabaena* cf. *aphanizomenoides*, *Anabaena* sp. (tricomas estériles), *Aphanizomenon* sp. (tricomas estériles), *Microcystis panniformis*, *Lyngbya* sp., *Oscillatoria* cf. *major*, *Phormidium* cf. *puteale*, *Phormidium* sp. y *Planktothrix isothrix* pertenecen a géneros reconocidos comúnmente como tóxicos o potencialmente tóxicos (Hallegraeff *et al.*, 2004). Todas se observaron solamente en la laguna Albertico, excepto *Anabaena* sp. que se registró para ambas lagunas y *Aphanizomenon* sp. que solo se identificó en Las Piedras. En esta última laguna existió una relativa alta abundancia de *Anabaena* sp. con más de 90 000 cél./L para el mes de febrero. Resultó notoria la presencia en la laguna Albertico de *Planktothrix*

*agardhii*, que es una especie reportada como tóxica (Hallegraeff *et al.*, 2004).

El predominio de estas especies en la laguna Albertico, se debe a que este tipo de organismos se favorecen en condiciones de degradación del hábitat y otros factores que interactúan con la carga de nutrientes (GEOHAB, 2006). La relativa alta abundancia de *Anabaena* sp. en el mes de febrero en Las Piedras, se correspondió con bajos valores de  $Ni_T$  para ese mes, probablemente propiciado por la capacidad de las cianoprocariontes heterocíticas de fijar el nitrógeno atmosférico (Schindler *et al.*, 2008).

El índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) registró los mayores valores para la laguna Las Piedras, excepto en julio (Fig. 3a), lo que corrobora mejor calidad de sus aguas, pues una mayor diversidad sugiere un ecosistema más saludable (Wilhm, 1970). Lo ocurrido en julio pudo ser consecuencia de los niveles mínimos de agua observados para esta laguna. Algo similar sucedió con la equitatividad ( $J'$ ) que también fue mayor en Las Piedras (Fig. 3b), lo que indicó mejor calidad de sus aguas según Rakocevic-Nedovic & Hollert (2005).

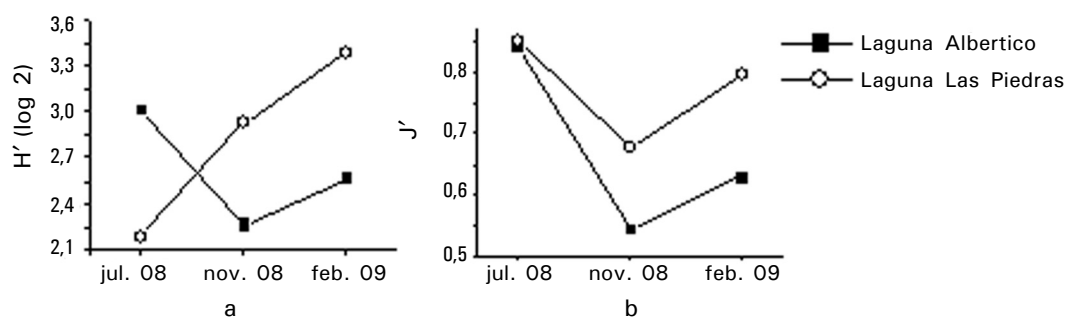


Fig. 3. Diversidad y equitatividad de especies de algas en las lagunas Albertico y Las Piedras en julio y noviembre, 2008 y febrero, 2009

### Clasificación del agua según el estado trófico y relación de nutrientes

De acuerdo con el criterio de Toledo *et al.* (1983) los resultados del  $P_T$  y clorofila *a* clasificaron a la laguna Albertico como oligotrófica en noviembre y en julio y en febrero como eutrófica para el  $P_T$  y mesotrófica para la clorofila *a* (Fig. 4a y b). Los bajos valores de biomasa

medidos a través de la clorofila *a* pueden ser consecuencia los bajos valores de porcentaje de saturación de oxígeno y las bajas concentraciones de nitrógeno que limitaron el desarrollo fitoplanctónico, el cual requiere de una adecuada relación de nutrientes (Dodds, 2006). En este acuatorio la relación  $Ni_T/P_T$  (0,02-0,10) estuvo siempre por debajo del valor señalado como limitación por nitrógeno (0,5) señalado por Morris & Lewis (1988).

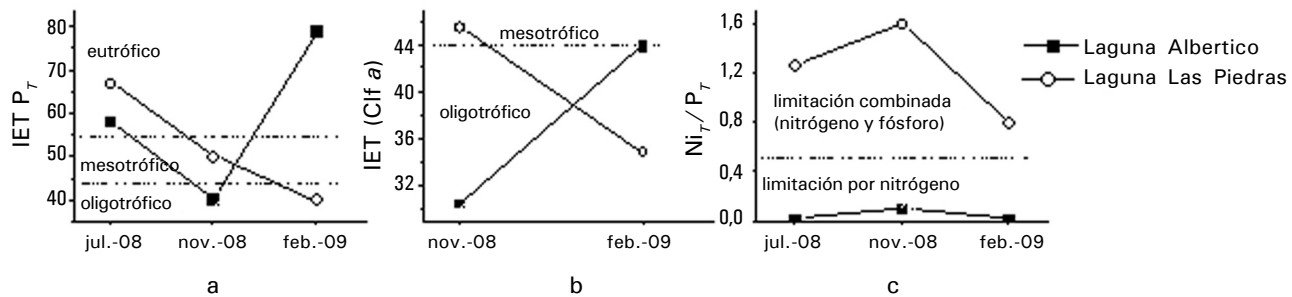


Fig. 4. Estado trófico de las lagunas Albertico y Las Piedras según los índices del estado trófico y las relaciones entre  $Ni_T$  y  $P_T$  en julio y noviembre de 2008 y febrero de 2009

Las aguas de la laguna Las Piedras según el criterio de Toledo *et al.* (1983) se clasificaron como eutróficas en el mes julio, mesotróficas en noviembre y oligotróficas en febrero con respecto a la concentración de  $P_T$ . En relación con la concentración de la clorofila *a*, esta laguna resultó mesotrófica en noviembre y oligotrófica en febrero. Las variaciones observadas en el estado trófico de la laguna Las Piedras se pueden explicar a partir del mismo criterio que se empleó para las concentraciones relativamente altas de fósforo total, es decir, la variabilidad de los niveles de agua en la laguna, que implica la concentración o dilución de sustancias disueltas o suspendidas en el agua, así como la descomposición de las plantas terrestres por los cambios en el volumen almacenado.

Al igual que en la laguna Albertico los niveles de biomasa calculados por la clorofila *a* fueron bajos, lo cual puede ser atribuido a la limitación por nitrógeno, demostrada por la relación  $Ni_T/P_T$  (0,8-1,6) (Morris & Lewis, 1988) (Fig. 4c). Aunque esto se manifestó en las dos lagunas, la limitación por nitrógeno, estuvo más acentuada en la laguna Albertico. Esto puede deberse a que en las aguas con abundante materia orgánica, déficit de oxígeno disuelto y altas cargas de nitrógeno se verifican procesos de desnitrificación (Heffernan & Cohen, 2010). Se ha planteado además que los humedales constituyen sumideros de nitrógeno como resultado de la alta capacidad que tienen para los procesos de desnitrificación (Jansson *et al.*, 1994) lo que podría ser un proceso de limpieza beneficioso para el ecosistema.

## CONCLUSIONES

En la laguna Las Piedras se observaron niveles extremos de agua, mientras que en la laguna Albertico fueron homogéneos. Los resultados físico-químicos y biológicos son de interpretación confusa si no se considera el

comportamiento hidrológico. La laguna Albertico expuesta directamente al riego de residuales líquidos del complejo industrial, presentó características físico-químicas del agua típica de acuatorios ambientalmente deteriorados. La microflora algina (abundantes euglenofíceas y un mayor número de especies de algas tóxicas), también mostró el grado de afectación de la calidad del agua de esta laguna. Las Piedras, alejada del vertimiento de los contaminantes industriales manifestó mejor calidad. La laguna Albertico mostró mayores valores de eutrofización, con respecto a Las Piedras, lo que evidenció las diferencias de ambas lagunas en relación con la influencia antrópica a que están sometidas, específicamente a la carga contaminante de materia orgánica y fósforo procedente de las industrias cercanas.

## REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA) (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20<sup>th</sup> ed.). Washington, D.C.
- Bourrelly, P. (1972). *Les algues d'eau douce: Initiation á la systematique: Les Algues Vertes*.- N. Boubée/Cie., vol. 1, 511 pp.
- Chapman, D. (Ed) (1996). *Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (Second ed.). Chapman y Hall, London, 651 pp.
- Comas, A. (2008). Algunas características de la flora de algas y cianoprocarotas de agua dulce de Cuba. *Boletín Soc. Esp. Ficología: Algas*, 39, 21-29.
- De Souza, K. R. (2008). Biodiversidade de algas e cianobactérias de três lagoas ("salina", "salitrada" e "baía") do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil Dissertação (Mestrado) Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 229 pp.
- Fuentes, F. & Massol-Deyá, A. (2002). *Manual de laboratorio. Ecología de microorganismos*. Universidad de Puerto Rico, pp. 202-217.

- GEOHAB (2006). *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Harmful Algal Blooms in Eutrophic Systems*. P. Glibert (Ed.). IOC and SCOR, Paris y Baltimore, 74 pp.
- Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M. & Cembella, A. D. (2004). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. IOC Manuals and Guides No. 33, UNESCO, 551 pp.
- Heffernan, J. B. & Cohen, M. J. (2010). Direct and indirect coupling of primary production and diel nitrate dynamics in a subtropical spring-fed river. *Limnol. Oceanogr.*, 55 (2), 677-688.
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of natural Water*. 3ª ed. USGS, 263 p.
- Jansson, M., Andersson, H., Berggren, H. & Leonardson, L. (1994). Wetlands and lakes and nitrogen traps. *Ambio.*, 23, 320-325.
- Kramer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986). Bacillariophyceae: Naviculaceae. In A. Pascher (Ed.), *Die Süßwasserflora von Mitteleuropas*, G. Fischer vol. (2/1), 855 pp.
- Lange-Bertalot, H. (1979). Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia*, 64, 285-304.
- Lynch, J. M. & Poole, N. J. (1979). *Microbial ecology: a conceptual approach*. Blackwell Scientific Publications.
- Medina-Gómez, I. & Herrera-Silveira, J. A. (2006). Primary production dynamics in a pristine groundwater influenced coastal lagoon of the Yucatan Peninsula. *Continental Shelf Research*, 26, 971-986.
- Morris, D. P. & Lewis, W. M. (1988). Phytoplankton nutrient limitation in Colorado lakes. *Freshwater Biol.*, 20, 315-327.
- Petrova, V. N., Villasuso, I. M. & Alfonso, A. A. (2007). *Manejo de los recursos hídricos en los humedales. IV Parte: Caso de estudio: Ciénaga de Zapata*. Empresa de Investigaciones, proyectos e ingeniería, Matanzas, Cuba.
- Pielou, E. C. (1977). *Mathematical ecology*. John Wiley & Sons, New York, 385 pp.
- Rakocevic-Nedovic, J. & Hollert, H. (2005). Phytoplankton Community and Chlorophyll *a* as Trophic State Indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan) *Environ Sci & Pollut Res*, 12 (3), 146-152.
- Sandoval, M. (2006). Disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) en vinazas mediante tratamiento biológico. Tesis de Diploma. Universidad Tecnológica de Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, 55 pp.
- Schindler, D. W., Hecky, R. E., Findlay, D. L., Stainton, M. P., Parker, B. R., Paterson, M. J., Beaty, K. G. *et al.* (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *PNAS*, 105 (32), 11254-11258.
- Shannon, C. E. & Weiner, W. (1963). *The mathematical theory of communication*. Urban University Illinois Press, 125 pp.
- Serruya, C. & Pollinger, U. (1983). *Lakes of the warm belt*. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 31-287.
- Toledo, A. P., Talarico, M., Chinez, S. J. & Agudo, E. G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriú, 57 pp.
- Wilhm, J. L. (1970). Range of diversity index in benthic macroinvertebrate populations. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 42, 221-224.
- Williamson, C. E., Dodds, W., Kratz, T. K. & Palmer, M. A. (2008). Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Front. Ecol. Environ.*, 6 (5), 247-254.