

2.10. Biomasa zooplanctónica durante la circulación de un lago monomítico cálido

Zavala-Velazquez Karla D.¹; Fernández Rocío^{2,*}; Oseguera Luis A.²; Alcocer Javier²; Vargas-Sánchez Mariana³; Soria-Reinoso Ismael F.³; Cervantes-Bedolla Michelle¹ y Espíritu-Vera Kevin D.¹

¹ Licenciatura en Biología, FES Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, CP 54090, Tlalnepantla, Estado de México.

² Grupo de Investigación en Limnología Tropical, FES Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, CP 54090, Tlalnepantla, Estado de México.

³ Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

*Autor para correspondencia: biol.fernandez@gmail.com

Resumen

El zooplancton de lagos tropicales profundos está sujeto a la hidrodinámica lacustre (periodos de estratificación y circulación) que a su vez está regulada por el clima tropical (época de lluvias y secas). En los recientes años el cambio climático ha provocado variabilidad climática. Alchichica es un lago tropical profundo con régimen de mezcla monomixis cálida. Se caracteriza por una baja riqueza específica de zooplancton, con solo tres especies dominantes, el copépodo *Leptodiptomus garciai*, un calanoide endémico y dos especies de rotíferos pertenecientes a las familias Brachionidae y Hexarthridae relacionadas con los complejos *B. picatilis* y *H. jenkiniae*, respectivamente. El lago presenta tres eventos fitoplanctónicos acoplados con la hidrodinámica del lago de los cuales el más importante es un florecimiento de diatomeas durante la circulación de la época fría/seca. El objetivo del trabajo fue analizar la variabilidad de la biomasa del zooplancton durante la época de circulación a lo largo de un periodo de 8 años (2009-2016). *L. garciai* contribuyó con casi el 100 % (31 ± 75 g PS m⁻²) de la biomasa y dominó en todos los periodos de circulación estudiados. De los rotíferos, tanto *Hexarthra* sp. como *Brachionus* sp. registraron su biomasa mayor en el año 2011 con 0.305 ± 0.525 g PS m⁻² y 0.044 ± 0.068 g PS m⁻², respectivamente. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre años *L. garciai* solo fue diferente en 2009 donde alcanzó biomasa hasta 20 veces mayor. No se encontró correlación alguna entre la biomasa del fitoplancton (clorofila a) total ni sus fracciones con ninguno de los componentes del zooplancton.

Palabras clave: Lago Alchichica; florecimiento de diatomeas; rotíferos; copépodos.

Abstract

The zooplankton of deep tropical lakes is subject to periods of stratification and circulation, and these, in turn, vary according to the temporality (rains and dry) that in recent years has fluctuated more by climatic variability, such as the case of Alchichica, a deep tropical lake with warm monomixis mixing regime. Alchichica has a low zooplankton richness, with only three dominant species, a copepod *Leptodiptomus garciai*, which is an endemic calanoid, and two species of rotifers belonging to the families Brachionidae and Hexarthridae related to the complex *B. picatilis* and *H. jenkiniae* respectively. In the lake, there are three phytoplankton events related to the lake's hydrodynamics. In the cold/dry season, diatoms bloom associated with the lake's circulation. The study aimed to observe how zooplankton biomass varies in circulation in Lake Alchichica over eight years (2009-2016). The calanoid copepod *L. garciai* contributed almost 100 % (31 ± 75 g PS m⁻²) of biomass and was present during all the circulation periods covered by the study. Of the rotifers, both *Hexarthra* sp. and *Brachionus* sp. recorded their highest biomass in 2011, with 0.305 ± 0.525 g PS m⁻² and 0.044 ± 0.068 g PS m⁻², respectively. No significant difference was found between years for both rotifers and *L. garciai*; only the

year 2009 was different from the others, being 20 times greater. No correlation of total chlorophyll or its fractions with any of zooplankton components was found.

Keywords: *Lake Alchichica; Diatom bloom; rotifers; copepods*

Introducción

El fitoplancton y zooplancton de los lagos tropicales profundos están sujetos a la hidrodinámica expresada en los periodos de estratificación y circulación (Winder y Schindler, 2004); a su vez, estos periodos cambian de acuerdo con la variabilidad climática tropical (épocas de lluvias y secas). El cambio climático ha modificado esta variabilidad climática en años recientes (Livingston, 2003; Reynolds, 2006; Winder y Sommer, 2012).

Alchichica es un lago tropical profundo que se ubica en Puebla, en la cuenca Oriental. Presenta un régimen de mezcla de monomixis cálida con periodos de mezcla durante la época seca/fría (finales de diciembre-enero a marzo-abril) y un periodo largo de estratificación que va de finales de abril a principios de diciembre) (Alcocer *et al.*, 2000; Macek *et al.*, 2009). La hidrodinámica térmica del lago es regular y predecible (Alcocer *et al.*, 2000; Macek *et al.*, 2009), lo que se expresa en los eventos fitoplanctónicos más importantes, como es el caso del florecimiento invernal de diatomeas que se presenta durante la circulación del lago (Vilaclara, *et al.*, 2022).

El lago Alchichica presenta una baja riqueza de zooplancton, con solo tres especies dominantes, el copépodo calanoide endémico *Leptodiaptomus garciai* (Osorio-Tafall, 1942) y dos especies de rotíferos, uno de la familia Brachionidae relacionado con el complejo *B. picatilis* (Muller, 1786) y el otro de la Hexarthridae relacionado con el complejo *H. jenkinsae* (Beauchamp, 1932). La biomasa del zooplancton está asociada con los eventos de desarrollo fitoplanctónico del lago, siendo que las mayores abundancias del zooplancton se presentan durante el periodo de circulación (Alcocer *et al.* 2022; Fernández *et al.* 2022). El objetivo del presente trabajo fue determinar la relación de la biomasa del zooplancton con la intensidad del florecimiento de diatomeas durante el periodo de circulación, así como determinar cuál especie de zooplancton es la que aporta más biomasa.

Materiales y métodos

Área de estudio

El lago Alchichica (19°24' N, 97°24' W, 2326 m s.n.m.) se localiza en la cuenca endorreica Oriental (~5,000 km²) en los límites de los estados de Puebla y Veracruz. El clima de la región árido con una evaporación anual de 1,690 mm y una precipitación anual de 500 mm (Caballero *et al.*, 2022). La temperatura del aire oscila entre los -5 a 30 °C, con una temperatura media anual de 14.4 °C (García, 2004). Este lago tiene una superficie de 2.3 km² y 1.7 km de diámetro, una profundidad máxima de 62 m y una media de 48.8 m (Filonov *et al.*, 2022). Contiene ~115,000,000 m³ de agua salina dominada por iones de sodio, magnesio, cloro y bicarbonato, además es alcalina (pH~9) (Vilaclara *et al.*, 1993).

Alchichica es un lago monomítico cálido con un periodo de mezcla corto de aproximadamente 3 meses y un periodo de estratificación largo que se caracteriza por el rápido desarrollo de un hipolimnion anóxico (Macek *et al.*, 2009). Es un lago oligotrófico con concentraciones de clorofila *a* ≤5 µg L⁻¹, 4.14 ± 0.69 µM de nitrógeno total y 0.21 ± 0.04 µM de fósforo total en la capa de mezcla (Ramírez-Olvera *et al.*, 2009).

Metodología

Se realizaron campañas de campo mensuales durante de 8 años (2009- 2016). Los muestreos se llevaron a cabo en la parte central y más profunda del lago (62 m). Se registraron perfiles *in situ* (resolución espacial de 1m) de temperatura y oxígeno disuelto con una sonda multiparamétrica de calidad del agua marca Hydrolab modelos DS4. Con base en éstos se determinó cuando el lago se encontraba circulando.

La elección de las profundidades de muestreo se hizo tomando en cuenta los perfiles de temperatura y oxígeno disuelto. Empleando una botella muestreadora Uwitec se obtuvieron muestras de agua de 5 L en diez profundidades a lo largo de la columna de agua. Para la obtención del zooplancton, las diez muestras recolectadas se filtraron *in situ* (54 μm) y los organismos se concentraron en viales de 50 mL, fijándose con formaldehído al 4% para su posterior identificación y recuento. En el laboratorio, las muestras de zooplancton se identificaron y contaron con una cámara Sedgwick Rafter usando un microscopio óptico. Se estimó la biomasa de los copépodos con base en el peso seco calculado con la medida de la longitud total (L en mm, excluyendo las setas caudales) empleando la constante $PS = 7.6637 L^{1.8911}$ para nauplios y $PS = 6.6705L^{2.0374}$ para copepoditos y adultos (Ciros *et al.*, 2015). En el caso de los rotíferos, la biomasa se estimó como biovolumen calculando con base en las fórmulas geométricas propuestas por Ruttner-Kolisko (1977). El peso húmedo se estimó a partir del biovolumen de cada individuo utilizando una densidad específica de 1.0, y el peso seco correspondió al 10% del peso húmedo (Ruttner-Kolisko, 1977).

Al igual que para el zooplancton se tomaron muestras de las diez profundidades para la determinación de la concentración de clorofila a total (Clor-a) y fraccionada por talla grande (GClor-a $\geq 2 \mu\text{m}$) y pequeño (PClor-a $< 2 \mu\text{m}$). Para la determinación de la concentración de Clor-a y sus fracciones se siguió el método fluorométrico 445.0 del EPA (Arar *et al.*, 1993).

Tanto la biomasa del zooplancton como la concentración de Clor-a y sus fracciones se integraron por unidad de área en la capa de mezcla. Para determinar si existían diferencias significativas entre los años se realizó una prueba de prueba U de Mann-Whitney y para ver si existe una correlación entre los componentes del zooplancton y la Clor-a y sus fracciones se realizó una correlación de Spearman (Shahbaba 2012).

Resultados y Discusión

El periodo de circulación en el lago Alchichica abarco tres meses (enero, febrero y marzo) en 7 de los 8 años; en 2016 la circulación se retrasó y duro solo dos meses (febrero y marzo). Febrero es el mes en el que se encuentran los perfiles de temperatura y oxígeno disuelto homogéneos y en marzo se observó que la temperatura en la superficie es más elevada y el oxígeno disuelto en el fondo empieza a disminuir. La temperatura del fondo se incrementó 0.5 °C del 2009 al 2016 lo cual puede ser una evidencia de que la zona está sufriendo calentamiento regional. A pesar de que en todos los años se observaron perfiles de temperatura homogéneos en los años 2010, 2013 y 2014 el oxígeno fue de por debajo del límite de detección por debajo de los 50 m.

La concentración de clor-a durante el florecimiento de diatomeas correspondiente al periodo de circulación del lago Alchichica varió de 87 mg m^{-2} a 930 mg m^{-2} con un promedio de $395 \pm 226 \text{ mg m}^{-2}$. Durante el año 2011 se registró la concentración mayor de Clor-a con un valor promedio de $564 \pm 417 \text{ mg m}^{-2}$ en un rango de 110 a 910 mg m^{-2} . El año 2009 presentó la concentración menor de Clor-a con un valor promedio de $149 \pm 19 \text{ mg m}^{-2}$ y un intervalo de 129 a 167 mg m^{-2} (Figura 1). La GClor-a aporta el 74% de la Clor-a presentándose el mayor aporte en 2016 con un 92% y el menor en 2009 con el 52%. La dominancia de la GClor-a se debe a que durante este florecimiento las diatomeas son más abundantes las especies de talla grande (p.e., *Cyclotella alchichicana*, *C. choctawhatcheeana*, *Chaetoceros elmorei*).

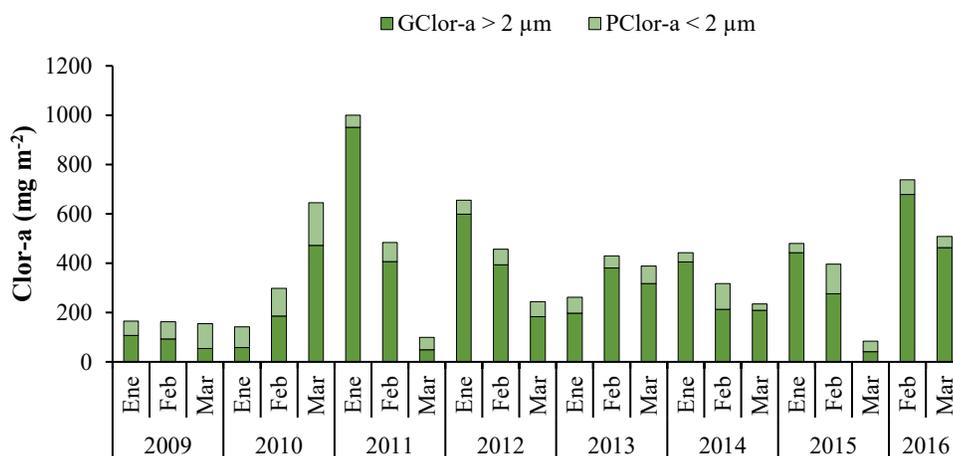


Figura 1. Clorofila *a* total durante el florecimiento de diatomeas en los periodos de circulación en el lago de Alchichica, Puebla.

El copépodo *Leptodiatomus garciai* se registró en todos los florecimientos de diatomeas en los ocho años estudiados aportando el 99.95 % de la biomasa total. La biomasa de éste varió de 1.3 g PS m⁻² a 315 mg PS m⁻² con un promedio de 31 ± 75 g PS m⁻². La mayor biomasa en el año 2009 presentó un promedio de 175 ± 77 g PS m⁻² mientras los valores más bajos se registraron en el año 2013 con un promedio de 2 ± 2 g PS m⁻² y un intervalo 1 a 5 g PS m⁻² (Figura 2). El promedio de la biomasa de *L. garciai* encontrado en 2009 es casi 20 veces más que los valores registrados durante todo el periodo estudiado.

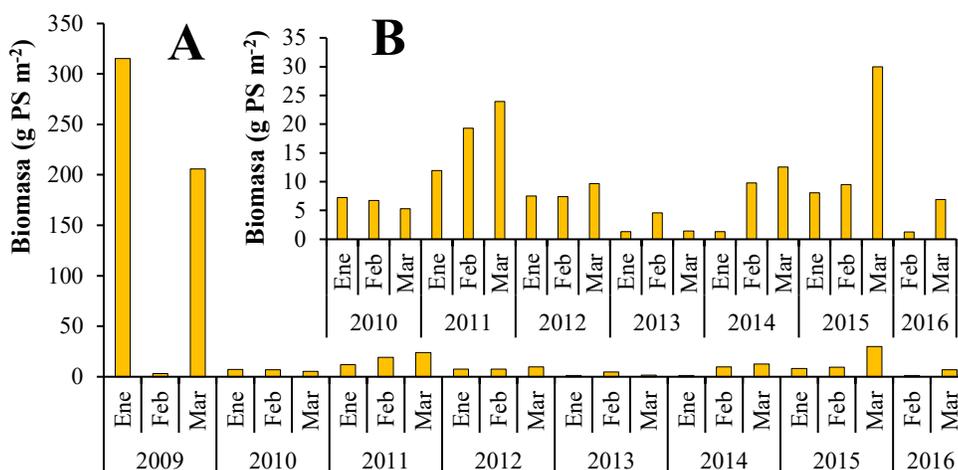


Figura 2. A Biomasa de *L. garciai* durante el florecimiento de diatomeas en la época de circulación del lago Alchichica a lo largo de un periodo de ocho años. B Detalle de la biomasa del calanoido *L. garciai* de los años 2010 a 2016.

Con relación a la biomasa de los rotíferos, estos aportaron el 0.05 % del total (*Brachionus* sp. 0.01 % y *Hexarthra* sp. 0.04 %) y, a diferencia del copépodo, no se encontraron en todos los años. *Brachionus* sp. se observó en cinco años mientras que *Hexarthra* sp. se registró en seis años (Figuras 3 y 4).

La biomasa del rotífero *Brachionus* sp. durante el florecimiento de diatomeas varió de estar ausente a 0.122 g PS m⁻². Los mayores valores de biomasa se registraron en el año 2011 con un promedio de 0.044 ± 0.068 g PS m⁻². En el periodo del 2013 a 2016 la biomasa es menor a 0.019 g PS m⁻².

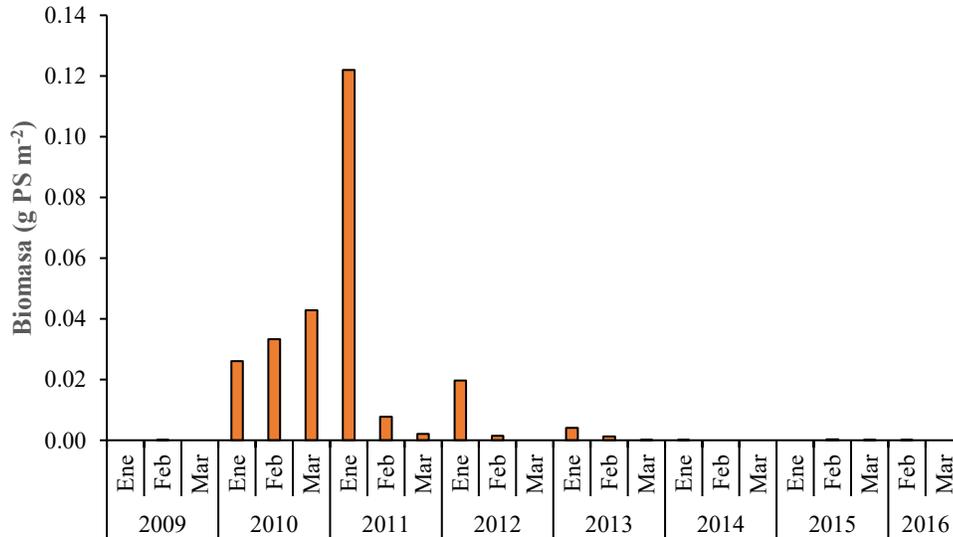


Figura 3. Biomasa del rotífero *Brachionus* sp. durante el florecimiento de diatomeas en la época de circulación del lago Alchichica a lo largo de un periodo de ocho años.

Hexarthra sp. es el organismo zooplanctónico con la menor biomasa en la mayoría de los años donde se encontró, a excepción del año 2011, donde se registró una biomasa de 0.305 ± 0.526 g PS m⁻² que fue superior a la de *Brachionus* sp. a diferencia del resto de tiempo de estudio presentando valores menores a 0.038 g PS m⁻².

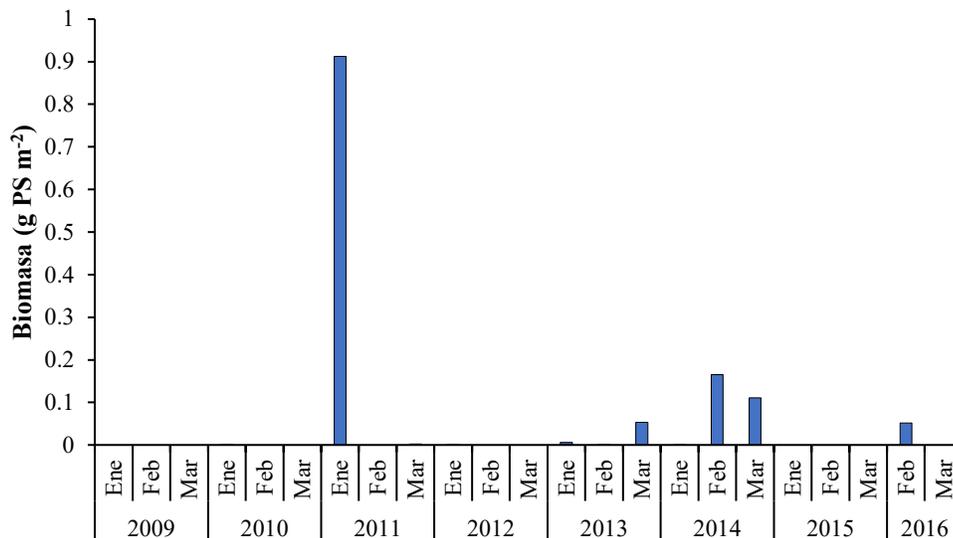


Figura 4. Biomasa del rotífero *Hexarthra* sp. durante el florecimiento de diatomeas en la época de circulación del lago Alchichica a lo largo de un periodo de ocho años.

La biomasa de *L. garciai* encontrada en 2009 fue diferentes significativamente ($p < 0.05$) al resto de los años entre los cuales no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre años para *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. lo cual se debe a que las desviaciones estándar son muy elevadas. En 2011 se encontró la biomasa mayor para ambos rotíferos (Figuras 3 y 4). No se encontró una correlación entre la clor-a con el copépodo ($r_s = -0.48$, $p > 0.05$) ni con los rotíferos *Brachionus* sp. ($r_s = 0.33$, $p > 0.05$) y *Hexarthra* sp. ($r_s = -0.21$, $p > 0.05$). Tampoco se encontró ninguna correlación significativa ($p > 0.05$) entre las fracciones de la clorofila, GClo-a y PClor-a, con ninguno de los componentes del zooplancton.

Conclusiones

La clorofila *a* de talla grande aporta el 74 % de la clorofila *a* total. La especie del zooplancton con mayor aporte de biomasa es el copépodo calanoide *Leptodiatomus garciai* con casi el 100 % de la biomasa total; los rotíferos solo aportan el 0.05 % de la biomasa. *L. garciai* registró su biomasa mayor durante el año 2009 que fue 20 veces más que el resto del periodo. No se encontraron diferencias significativas entre años para la biomasa de ninguno de los dos rotíferos; para la biomasa de *L. garciai* solo el año 2009. No se encontró una correlación de la clorofila *a* total ni sus fracciones con ninguno de los componentes del zooplancton.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por PAPIIT a través de los proyectos “Los lagos como centinelas de cambio climático. Acoplamiento clima-lago-agua subterránea en cuencas endorreicas semiáridas” (IN213323), “La limnología del Lago Alchichica bajo el escenario actual de cambio ambiental global” (IN213323), “Cuerpos acuáticos epicontinentales: Papel de la dinámica del carbono y emisiones de gases de efecto invernadero en México” (PINCC 2020-2021) y “Cuerpos acuáticos epicontinentales: Papel de la dinámica del carbono y emisiones de gases de efecto invernadero en México. Segunda parte: Eutroficación y emisiones de GEI” (PINCC 2023).

Literatura citada

- Alcocer, J., A. Lugo., E. Escobar., M. R. Sánchez and G. Vilaclara. 2000. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic Lake Alchichica, Puebla, Mexico. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 27(5), 3166-3169.
- Arar, E.J. and G.B. Collins. 1997. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin a in Marine and Freshwater. Algae by Fluorescence; U.S. Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, USA.
- Caballero, M., R. A. Silva-Aguilera y Ó. Escolero. 2022. Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad. pp. 35-45. En Alcocer, J. (ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ciros-Pérez, J., E. Ortega-Mayagoitia and J. Alcocer. 2015. The role of ecophysiological and behavioral traits in structuring the zooplankton assemblage in a deep, oligotrophic, tropical lake. *Limnol. Oceanogr.* 60, 2158–2172.
- Fernández, R., J. Alcocer., A. Lugo., L. A. Oseguera and S. Guadarrama-Hernández. 2022. Seasonal and interannual dynamics of pelagic rotifers in a tropical, saline, deep lake. *Diversity*, 14(2), 113.
- Filonov, A., I. Tereshchenko, M.R. Barba-López, J. Alcocer and L. Ladah. 2022, Meteorological regime, local climate, and hydrodynamics of Lake Alchichica. In *Lake Alchichica Limnology: The Uniqueness of a Tropical Maar Lake*; Alcocer, J. (eds) Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen; Quinta; Instituto de Geografía, UNAM: Ciudad de México, Mexico, ISBN 9703210104.
- Livingstone, D. M. 2003. Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake. *Climatic change*, 57(1), 205225.
- Macek, M., J. Alcocer., A. Lugo-Vázquez., M. E. Martínez-Pérez, L. Peralta Soriano and G. Vilaclara-Fatjó. 2009. Long term picoplankton dynamics in a warm monomictic, tropical high altitude lake. *J. Limnol.* 68, 183–192.
- Ramírez-Olvera, M.A., J. Alcocer, M. Merino-Ibarra and A. Lugo. 2009 Nutrient limitation in a tropical saline lake: A microcosm experiment. *Hydrobiologia* 626, 5–13.
- Reynolds, C. S. 2006. The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press.
- Shahbaba B. 2012. Biostatistics with R. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- Vilaclara, G., M. Chávez, A. Lugo, H. González and M. Gaytán. 1993. Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, Mexico. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 25, 435–440.
- Vilaclara, G., M. G. Oliva-Martínez., M. Macek., E. Ortega-Mayagoitia., R. J. Alcántara-Hernández and C. López-Vázquez. 2022. Phytoplankton of Alchichica: A Unique Community for an Oligotrophic Lake. pp. 197-204. In Alcocer, J. (ed.) Springer. Gewerbestrasse, Switzerland.
- Winder, M., D. E. Schindler. 2004. Climatic effects on the phenology of lake processes. *Global Change Biology*, 10(11),1844-1856.
- Winder, M., Sommer, U. 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*, 698(1), 5-16.



Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México. Síntesis a 2023

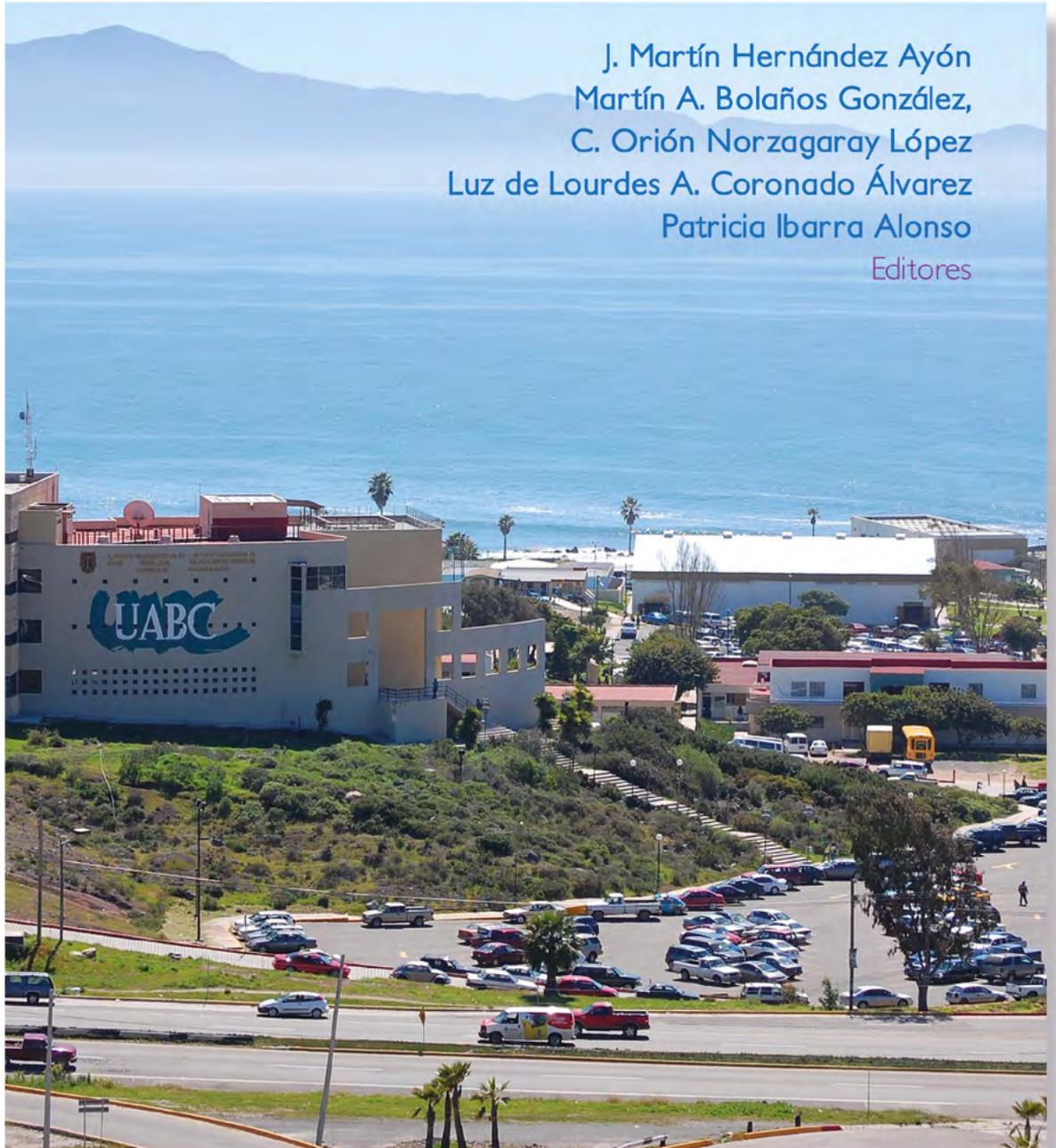
PROGRAMA MEXICANO DEL CARBONO

2023

Año 5

Número 5

J. Martín Hernández Ayón
Martín A. Bolaños González,
C. Orión Norzagaray López
Luz de Lourdes A. Coronado Álvarez
Patricia Ibarra Alonso
Editores



PM_C
Programa Mexicano del Carbono
RED TEMÁTICA DEL CONACYT



io
Instituto de
Investigaciones
Oceanológicas

Stanford | México Clean
Economy 2050

**THE OCEAN
FOUNDATION**



Forma correcta de citar:

Hernández Ayón J. M.; Bolaños González M. A.; Norzagaray López C. O.; Coronado Álvarez L. e Ibarra Alonso P. (Editores). 2023. Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2023. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Texcoco, Estado de México, México. ISSN 2954-4882. 326 p.

Programa Mexicano del Carbono A.C.
Calle Chiconautla No. 8 Interior A
Colonia Lomas de Cristo, Texcoco, Estado de México, México

www.pmcarbono.org

Esta obra fue elaborada por el Programa Mexicano del Carbono (PMC).
Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio.

Diseño Gráfico: Oscar J. Velázquez R.

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DEL CICLO DEL CARBONO Y SUS INTERACCIONES EN MEXICO. Año 5, No. 5, enero - diciembre de 2023. Es una publicación anual editada por el Programa Mexicano del Carbono, A.C., calle Chiconautla No. 8 Interior A, Colonia Lomas de Cristo, C.P. 56225 Texcoco, Estado de México, México. Tel. +52 (595) 951•2182, www.pmcarbono.org Editor responsable: José Martín Hernández Ayón. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-121910292200-102, ISSN 2954-4882. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número: José Martín Hernández Ayón, Calle Chiconautla No. 8 Interior A, Colonia Lomas de Cristo, C.P. 56225 Texcoco, Estado de México, México, fecha de última modificación, diciembre de 2023.

Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2023

J. Martín Hernández Ayón, Martín A. Bolaños González,
C. Orión Norzagaray López, Luz de Lourdes A. Coronado Álvarez
y Patricia Ibarra Alonso

EDITORES

Programa Mexicano del Carbono (PMC)
Universidad Autónoma de Baja California (UABC)

Ensenada, Baja California, México

Diciembre 2023