

## 2.4. Biomasa zooplanctónica y máximo profundo de clorofila en un lago monomítico cálido

Cervantes-Bedolla Michelle<sup>1</sup>; Oseguera Luis A<sup>2,\*</sup>; Fernández Rocio<sup>2</sup>; Alcocer Javier<sup>2</sup>; Vargas-Sánchez Mariana; Zavala-Velázquez Karla D.<sup>1</sup> y Espíritu-Vera Kevin D.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

\*Autor para correspondencia: loseguera@unam.mx

### Resumen

La distribución del plancton depende de las características morfológicas de los lagos. En el caso de los lagos tropicales profundos y oligotróficos, se desarrolla un máximo profundo de clorofila (DCM por sus siglas en inglés) en el metalimnion. 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* y dos especies de rotíferos, *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. Durante el año se presentan tres eventos fitoplanctónicos entre ellos un DCM el cual está integrado principalmente por la diatomea *Cyclotella alchichicana*. El objetivo de este trabajo fue determinar la variación de la biomasa zooplanctónica en relación con la dinámica del DCM a lo largo de 8 años (2009-2016). *L. garciai* contribuyó con casi el 100 % ( $5 \pm 36$  g PS m<sup>-2</sup>) de la biomasa y dominó en todos los meses donde se presentó el DCM. De los rotíferos, *Hexarthra* sp. registró su biomasa mayor en el año 2011 con  $0.143 \pm 0.069$  g PS m<sup>-2</sup>, mientras que para *Brachionus* sp. su mayor biomasa se observó en el año 2014 con  $0.009 \pm 0.013$  g PS m<sup>-2</sup>. No se presentaron diferencias significativas entre años excepto *L. garciai* fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en 2009. 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; *Leptodiptomus*; *Brachionus*; *Hexarthra*; Lagos Tropicales.

### Abstract

The distribution of plankton depends on the morphological characteristics of lakes. In the case of deep lakes, especially in the oligotrophic, a deep chlorophyll maximum (DMC) is observed during stratification. Alchichica is a deep tropical lake with warm monomixis mixing regime. It is characterized by a low specific richness of zooplankton, with only three dominant species, the copepod *Leptodiptomus garciai*, an endemic calanoid and two species of rotifers, *Brachionus* sp. and *Hexarthra* sp. During the year, there are three phytoplankton events, including a Deep Chlorophyll Maximum, mainly formed by the diatom *Cyclotella alchichicana*. This work aimed to determine which zooplankton component provides more biomass during DCM with different intensities over eight years (2009-2016). *L. garciai* contributed almost 100 % ( $5 \pm 36$  g PS m<sup>-2</sup>) of biomass and dominated all months where DCM was presented. Of the rotifers, *Hexarthra* sp. recorded its highest biomass in 2011 with  $0.143 \pm 0.069$  g PS m<sup>-2</sup>, while *Brachionus* sp. its highest biomass was  $0.009 \pm 0.013$  g PS m<sup>-2</sup> and was observed in 2014. However, there were no significant differences between the years. *L. garciai* was different in 2009. No correlation was found between the total phytoplankton biomass (chlorophyll a) and its fractions with zooplankton components.

**Keywords:** Alchichica Lake; *Leptodiptomus*; *Brachionus*; *Hexarthra*; Tropical Lakes.

## Introducción

El carbono biogénico en los ecosistemas pelágicos está compuesto principalmente por el necton y el plancton, este último se divide en el fitoplancton que son los productores primarios y el zooplancton que son los consumidores primarios (Hirata *et al.*, 2011; James *et al.*, 2022). La distribución del plancton depende de las características morfológicas de los lagos. En el caso de los lagos tropicales profundos se desarrolla un máximo profundo de clorofila (DCM, por sus siglas en inglés) durante la estratificación (Margalef 1983). El DCM se desarrolla en el metalimnion y está compuesto principalmente por fitoplancton (Reynolds *et al.* 2002).

Alchichica es un lago tropical profundo con un régimen de mezcla monomíctico cálido (Alcocer *et al.*, 2000) y la dinámica de la producción primaria está asociada con su hidrodinámica (González-Contreras *et al.*, 2015; Cuevas-Lara *et al.*, 2016). El zooplancton que habita en este lago está sujeto a la hidrodinámica del lago, presentando mayores abundancias durante los eventos fitoplanctónicos (Alcocer *et al.*, 2022; Fernández *et al.*, 2022).

A lo largo del año se presentan tres eventos fitoplanctónicos entre ellos, el desarrollo de un DCM, compuesto principalmente por la diatomea *Cyclotella alchichicana* (diámetro 35 – 63  $\mu\text{m}$ ; promedio 49  $\mu\text{m}$ ,  $n = 100$ ; Oliva *et al.*, 2006). La riqueza del zooplancton en el lago Alchichica es muy baja, con una especie de cópepodo calanoide *Leptodiptomus garciai* y dos rotíferos *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. (Alcocer *et al.*, 2022; Fernández *et al.*, 2022). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la variación de la biomasa zooplanctónica en relación con la dinámica del DCM a lo largo de ocho años.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El lago Alchichica (19°24' N, 97°24' W, 2326 m. s.n.m.) se encuentra en el límite de los estados de Puebla y Veracruz dentro de la cuenca endorreica Oriental, con casi 5,000 km<sup>2</sup> de superficie. Esta región tiene un clima árido con una evaporación anual de 1,690 mm y una precipitación de menor a 500 mm por año (Adame *et al.*, 2008). El rango de la temperatura de región es de -5.5 a 30.0 °C y la temperatura media anual es de 14.4 °C (García, 2004). El lago tiene una superficie de 2,367 km<sup>2</sup> y un diámetro de 1.7 km, con profundidad media de 48.4 m y una máxima de 62 m (Filonov *et al.*, 2022). El lago contiene ~115,000,000 m<sup>3</sup> de agua salina con un rango de 8.5 a 9.9 g L<sup>-1</sup> donde los iones dominantes son el sodio, magnesio, cloro y bicarbonato, y un pH alcalino (pH~9) (Vilaclara *et al.*, 1993).

El lago Alchichica es monomíctico cálido con un período de mezcla que generalmente abarca tres meses y una estratificación de nueve a diez meses; durante la estratificación el hipolimnion se torna anóxico (Macek *et al.*, 2009). La capa de mezcla del lago Alchichica presenta concentraciones de clorofila *a* menores a 5  $\mu\text{g L}^{-1}$  y concentraciones bajas de nutrientes (4.14  $\mu\text{M}$  de nitrógeno total y 0.21  $\mu\text{M}$  de fósforo total) por lo que es considerado oligotrófico (Ramírez-Olvera *et al.*, 2009).

### Metodología

Se realizaron muestreos mensuales en el periodo de 2009 a 2016. Se midieron perfiles verticales *in situ* (resolución espacial de 1 m) en la parte central y más profunda del lago (62 m) de temperatura y oxígeno disuelto con una sonda multiparamétrica de calidad del agua DS5 Hydrolab; con base en los perfiles se determinó la profundidad de la capa de mezcla. El DCM se ubicó con la ayuda de un perfilador de fluorescencia natural marca Biospherical modelo PNF-300.

Para la obtención de muestras biológicas se usó una botella muestreadora marca Uwitec con capacidad de 5 L. Se eligieron diez profundidades de acuerdo con los perfiles de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia natural para garantizar una colecta representativa del DCM. En cada profundidad se obtuvieron dos botellas, la primera para el análisis de clorofila-a y la otra para la determinación de la biomasa del zooplancton. En el laboratorio se analizaron la clorofila *a* total (TClor), la de talla grande (GClor-a) y la de talla pequeña (PClor-a) mediante el método 445.5 del EPA con ayuda de un fluorómetro Turner Design 10-AU (Arar *et al.*, 1993).

El segundo conjunto de diez muestras se utilizó para el análisis del zooplancton. Las diez muestras de agua se filtraron *in situ* (54  $\mu\text{m}$ ) y todos los organismos se concentraron en viales de 50 ml y se fijaron con formaldehído al 4 % para su posterior análisis (identificación, recuento). Los concentrados completos de 50 ml se identificaron y se contaron (cámara Sedgwick Rafter bajo un microscopio óptico) en el laboratorio.

La biomasa de copépodos se estimó con el peso seco calculado con la medida de longitud total (L en mm, excluyendo las setas caudales) con la constante  $PS = 7.6637 L^{1.8911}$  para nauplios y  $PS = 6.6705 L^{2.0374}$  para copepoditos y adultos (Ciros *et al.*, 2015). La biomasa de los rotíferos se estimó como biovolumen calculado 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).

La biomasa del zooplancton y la concentración de Clor-a y sus fracciones se integraron por unidad de área en toda la columna de agua. Se realizó una prueba de prueba U de Mann-Whitney para comprobar si existían diferencias significativas entre los años y una correlación de Spearman entre los componentes del zooplancton y la Clor-a para ver si existe una concordancia (Shahbaba 2012).

## Resultados y Discusión

La época de estratificación en el lago Alchichica tuvo una duración de ocho meses en los 8 años muestreados. El lago se encontró bien estratificado desde el mes de julio, sin embargo, el DCM se inició en diferentes meses, para el 2009 y 2010 fue en agosto y en julio para el periodo de 2011 a 2016.

La temperatura de la capa de mezcla durante estos meses varió de  $15.9 \pm 0.2$  °C en noviembre de 2010 a  $19.5 \pm 0.2$  °C en julio de 2015. Durante estos cuatro meses la capa de mezcla se va profundizando, empezando en promedio a los  $17.5 \pm 0.9$  m y terminado a los  $25.3 \pm 1.0$  m. El oxígeno disuelto en la capa de mezcla fue muy constante durante todos los meses de muestreo con un promedio de  $6.8 \pm 0.1$  mg L<sup>-2</sup>. La duración del DCM fue de cuatro meses en todos los años.

La concentración de TClor-a en el lago Alchichica durante los meses donde se presentó el DCM varió de 49 mg m<sup>-2</sup> a 374 mg m<sup>-2</sup> con un promedio de  $160 \pm 88$  mg m<sup>-2</sup>. En el 2012 se observó la concentración mayor de TClor-a con un valor promedio de  $295 \pm 83$  mg m<sup>-2</sup> con un intervalo de 192 a 374 mg m<sup>-2</sup> (Figura 1).

En contraste, el año con menor concentración de TClor-a fue el 2013 con un rango entre 49 y 122 mg m<sup>-2</sup> y un promedio de  $96 \pm 34$  mg m<sup>-2</sup> (Figura 1). El DCM fue más intenso en septiembre de 2013 a 2016, en julio para 2009, 2011 y 2012 y octubre en 2010 (Figura 1).

El DCM en el lago Alchichica está compuesto principalmente por *Cyclotella alchichicana* que es una diatomea de talla grande (35 – 63  $\mu\text{m}$ ) (Oliva *et al.*, 2006). Lo anterior explica porque el aporte mayor a la TClor-a fue la fracción de la GClor-a con un promedio del  $83 \pm 11\%$ . El aporte mayor se presentó en el mes de septiembre de 2015 con el 96% y el menor en octubre de 2009 con 49%.

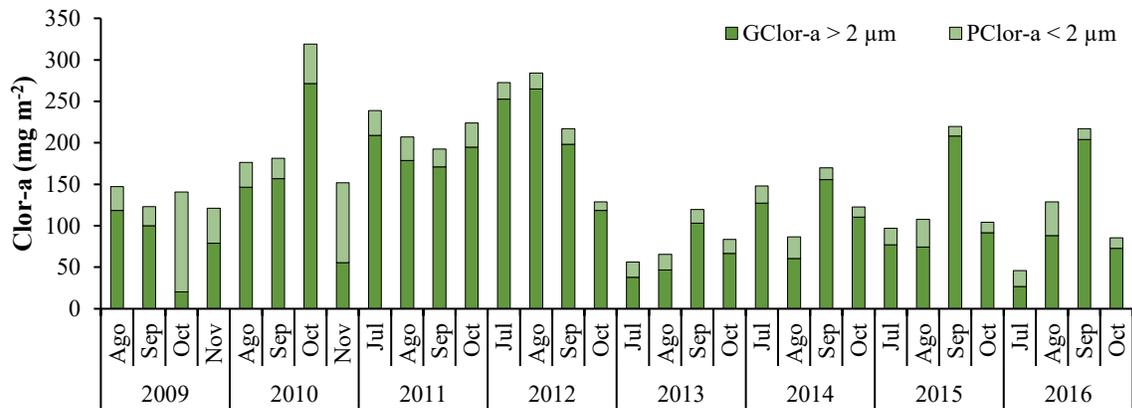


Figura 1. Clorofila *a* durante el Máximo Profundo de Clorofila (DCM) en el periodo de estratificación en el lago de Alchichica, Puebla.

El copépodo *Leptodiatomus garciai* se observó en el 96.9 % de los meses donde se presentó el DCM estando ausente solo en septiembre de 2010 y aportó el 99.93% de la biomasa total. La biomasa mayor varió de 0 g PS m<sup>-2</sup> (por debajo del límite de detección) a 147 g PS m<sup>-2</sup> con un promedio de  $5 \pm 36$  g PS m<sup>-2</sup>. La biomasa mayor en el año 2009 presentó un promedio de  $38 \pm 73$  g PS m<sup>-2</sup>, mientras que los valores más bajos se observaron en el año 2010 con un promedio de  $0.01 \pm 0.01$  g PS m<sup>-2</sup>.

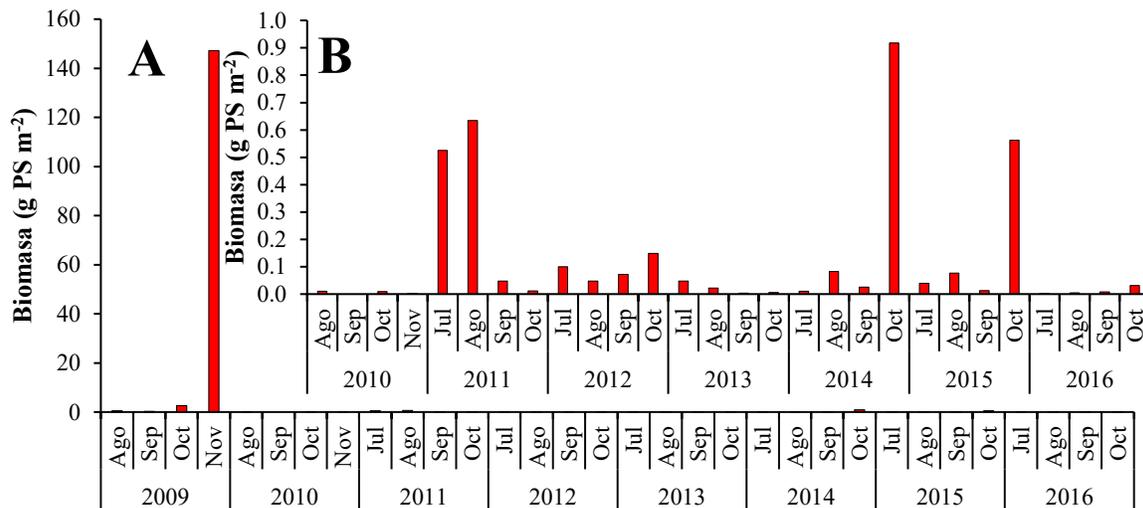


Figura 2. A Biomasa de *L. garciai* durante el Máximo Profundo de Clorofila en la época de estratificación del lago Alchichica a lo largo de un periodo de ocho años. B Detalle de la biomasa del calanoide *L. garciai* de los años 2010 a 2016.

El aporte de los rotíferos a la biomasa total es insignificante con un 0.07%, siendo *Hexarthra* sp. el que mayor aporte tuvo con 0.04 % mientras que *Brachionus* sp. solo aportó el 0.03%. *Brachionus* sp. se observó en todos los años mientras que *Hexarthra* sp. solo se presentó en cinco años (Figuras 3 y 4).

La biomasa del rotífero *Brachionus* sp. durante el DCM varió de estar ausente a 0.03 g PS m<sup>-2</sup>. Los valores mayores se presentaron durante el año 2014 con un promedio de  $0.009 \pm 0.013$  g PS m<sup>-2</sup>. En el periodo de 2010 a 2016 la biomasa es menor a 0.010 g PS m<sup>-2</sup>. El componente zooplanctónico con la menor biomasa en la mayoría de los meses donde se observó fue *Hexarthra* sp. a excepción del año 2011, donde se registraron valores de biomasa  $0.069 \pm 0.072$  g PS m<sup>-2</sup>.



*garciai* solo el año 2009 fue diferentes de los demás. 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. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol* 27:3166–3169.
- Andrade, V. S., M. Gutiérrez, F. Gutierrez and A.M. Gagneten. 2022. Effect of rainfall runoff from agricultural areas and seasonal crop practices on zooplankton community in Pampean streams, Argentina. *Environmental Science and Pollution Research* 29:41713–41724. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18417-y>
- Chiappa-Carrara, X., E. Arce, G. Pérez-Ponce de León, and J. Alcocer. 2022. Alchichica silverside. In *Lake Alchichica Limnology: The Uniqueness of a Tropical Maar Lake* (pp. 261-272). Cham: Springer International Publishing.
- Ejsmont-Karabin, J., and A. Karabin. 2013. The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 61:561-573.
- González-Contreras, C.G., J. Alcocer and L.A. Oseguera. 2015. Phytoplankton chlorophyll a in the tropical deep Alchichica: A long-term record (1999–2010). *Hidrobiológica* 25:347–356.
- Hirata, T., N. J. Hardman-Mountford, R. J. W. Brewin, J. Aiken, R. Barlow, K. Suzuki, T. Isada, E. Howell, T. Hashioka and M. Noguchi-Aita. 2011. Synoptic relationships between surface chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. *Biogeosciences*, 8:311-327.
- James, C. C., A. D. Barton, L. Z. Allen, R. H. Lampe, A. Rabines, A. Schulberg, H. Zheng, R. Goericke, K. Goodwin and A. E. Allen. 2022. Influence of nutrient supply on plankton microbiome biodiversity and distribution in a coastal upwelling region. *Nature communications*, 13(1), 2448.
- Jeppesen, E., P. Noges, T. Davidson, J. Haberman, T. Noges, K. Blank, T. Lauridsen, C. Sayer, R. Laugaste, L.S. Johansson, R. Bjerring and S. L. Amsinck. 2011. Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 76: 279-297 <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0831-0>
- Livingstone, D. M. 2003. Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake. *Climatic change*. 57:205-225 <https://doi.org/10.1023/A:1022119503144> .
- Monakov, A. V. 2003. Feeding of freshwater invertebrates. Kenobi Productions.
- Oliva, M. G., A. Lugo, J. Alcocer and E. A. Cantoral. 2006. *Cyclotella alchichicana* sp. nov. from a saline Mexican lake. *Diatom Research*, 21: 81-89. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2006.9705653>
- Reynolds, C. S, V. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores and S. Melo. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton *J. Plankton Res.*, 24: 417-428. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- Rita, A., C. O'Reilly, H. Zagarese, S. Baines, D. Hessen, W. Keller, D. Livingstone, R. Sommaruga, D. Straile, E. Van Donk, G. A. Weyhenmeyer, and M. Winder. 2009. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54:2283-2297. [https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2283](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283).
- Shahbaba, B. 2012. *Biostatistics with R*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London
- Smol, J. P., A. P. Wolfe, H. J. Birks, B. Douglas, M. S. Douglas, V. J. Jones, A. Korhola, R. Pienitz, K. Ruhland, S. Sorvari, D. Antoniades, S.J. Brooks, M-A. Fallu, M. Hughes, B.E. Keatley, T.E. laung, N. Michelutti, L. Nazaroval, M. Nyman, A.M. Paterson, B. Perren, R. Quinlan, M. Rautio, E. Saulnier-Talbot, S. Siitonen, N. Solovieva, and J. Weckstrom. 2005. Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102:4397-4402. <https://doi.org/10.1073/pnas.0500245102>
- Winder, M., and D. E. Schindler. 2004. Climatic effects on the phenology of lake processes. *Global Change Biology* 10:1844-1856. <https://doi.org/10.3390/app13052881>
- Yuan, L. L., and A. I. Pollard. 2018. Changes in the relationship between zooplankton and phytoplankton biomasses across a eutrophication gradient. *Limnology and Oceanography*, 63:2493-2507.



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

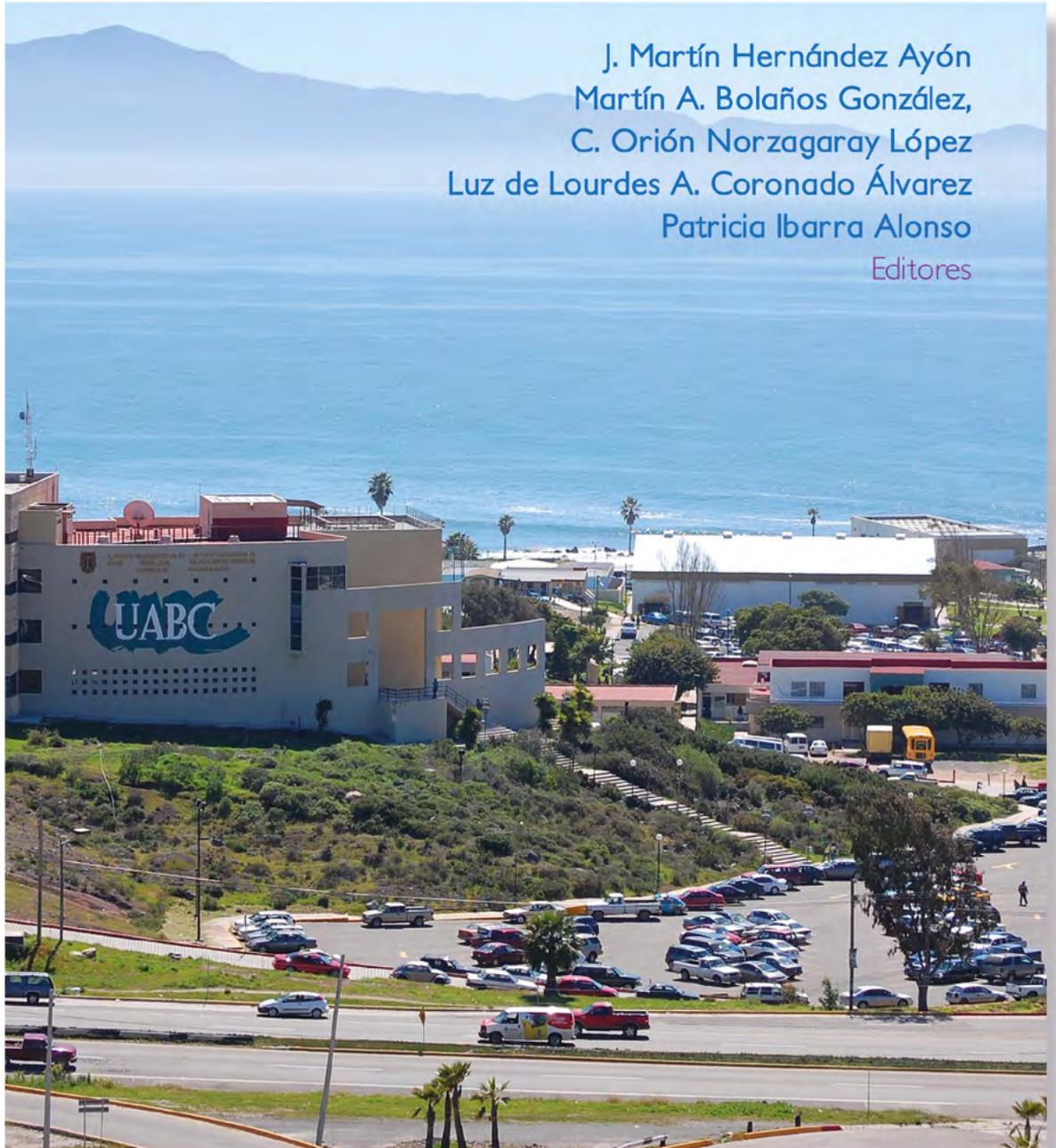
PROGRAMA MEXICANO DEL CARBONO

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<sub>C</sub>**  
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](http://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](http://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