

2.6. Variación temporal de la biomasa del zooplancton de un lago monomítico tropical durante eventos El Niño y La Niña

Espíritu-Vera Kevin D.¹; Oseguera Luis A.^{2,*}; Fernández Rocío²; Soria-Reinoso Ismael F.³; Arreguin-Rebolledo Uriel⁴; Alcocer Javier²; Cervantes-Bedolla Michelle¹ y Zavala-Velázquez Karla 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.

⁴ Centro de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad 940, C.P. 20100, Aguascalientes, México.

* Autor para correspondencia: loseguera@unam.mx

Resumen

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) es un fenómeno océano-atmosférico con efectos macroclimáticos caracterizado por el aumento de la temperatura de la superficie del océano en el Pacífico del este. Los efectos del ENSO repercuten no solo en el océano, también afectan el continente y sus cuerpos de agua interiores. Presenta dos eventos, El Niño y La Niña. El lago Alchichica, ubicado en la cuenca Serdán-Oriental, presenta una temporalidad tropical marcada, lluvias y secas. Alchichica es un lago profundo, monomítico cálido. El ciclo anual de la hidrodinámica estacional determina el gradiente de temperatura que influye en la dinámica poblacional del fitoplancton y zooplancton. En el zooplancton de Alchichica se encuentran como organismos predominantes al copépodo *Leptodiatomus garciai* así como dos especies de rotíferos, *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. El objetivo del presente trabajo fue determinar si influye, y de qué manera, el ENSO sobre la biomasa del zooplancton durante un periodo de ocho años (2009 a 2016). El copépodo calanoide *Leptodiatomus garciai* aportó el 99.87 % de la biomasa total mientras que los rotíferos solo aportaron el 0.12%. *L. garciai* registró su biomasa mayor durante la Niña de 2009 mientras que la de rotíferos se observó en la Niña de 2011-12. No se encontraron diferencia significativa entre eventos del ENSO para la biomasa de ninguno de los dos rotíferos; para la biomasa de *L. garciai* solo el año 2009 fue diferentes de los demás.

Palabras clave: ENSO, variabilidad climática, Lago Alchichica, zooplancton.

Abstract

The El Niño Southern Oscillation (ENSO) is an ocean-atmospheric phenomenon with macroclimatic effects characterized by rising ocean surface temperature in the Eastern Pacific. Although the effects of ENSO are associated with the oceans, they can also affect inland bodies of water and present two events, El Niño and La Niña. Lake Alchichica, located in the basin Serdán-Oriental, presents a marked temporality in which rainy and dry seasons are distinguished; it is characterized by a deep lake monomítico warm. The annual cycle of seasonal hydrodynamics determines the temperature gradient influencing phytoplankton and zooplankton population dynamics. In the zooplankton of Alchichica, we find as predominant organisms the copepod *Leptodiatomus garciai* and two species of rotifers *Brachionus* sp. and *Hexarthra* sp. The objective was to determine how the ocean-atmospheric phenomenon ENSO (El Niño) influences the biomass of zooplankton over eight years (2009 to 2016). The calanoid copepod *L. garciai* provided 99.87% of the total biomass, while the rotifers only contributed 0.12%. *L. garciai* recorded its highest biomass during Niña 09, while that of rotifers was observed in Niña 11-12. No

significant difference was found between ENSO events for the biomass of either rotifer; for *L. garciai* biomass only in 2009, it was different from the others.

Keywords: ENSO, climate variability, Lake Alchichica, zooplankton.

Introducción

En lagos tropicales se presenta una temporalidad marcada identificada por las temporadas de lluvias y secas (Villalobos, 2006). El régimen de mezcla y las propiedades fisicoquímicas determinan, en gran medida, la composición y estructura del plancton de los lagos (Becker *et al.*, 2009). El zooplancton del lago Alchichica presenta una baja riqueza y representada por un calanoide *Leptodiptomus garciai* y los rotíferos *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. (Ortega-Mayagoitia *et al.* 2022). El fitoplancton muestra una mayor diversidad, pero está dominado principalmente por la diatomea *Cyclotella alchichicana* y la cianobacteria *Nodularia* aff. *spumigena* solo en la estratificación temprana (Vilaclara *et al.* 2022).

Las fluctuaciones físicas impulsadas por el clima ejercen fuertes impactos en los ecosistemas acuáticos. En general, las propiedades térmicas de los ecosistemas acuáticos se rigen más directamente por las fluctuaciones climáticas y oceánicas a gran escala (Shimoda *et al.* 2011). El Niño-Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés) es un fenómeno océano-atmosférico con efectos macroclimáticos caracterizado por el aumento de la temperatura de la superficie del océano en el Pacífico del este. Los efectos del ENSO repercuten no solo en el océano, también afectar el continente y sus cuerpos de agua interiores, provocando valores extremos en la física, en la química y por lo tanto en la composición del plancton (Alcocer y Lugo, 2003). El ENSO presenta dos eventos, El Niño y La Niña, es un fenómeno asincrónico con diferentes intensidades (débil, moderado y fuerte) (NOOA, 2023), su influencia en el clima se presenta en diferentes épocas del año (Vadadi-Fülöp *et al.* 2012), por lo que su efecto en los ecosistemas acuáticos es muy variado, puede intensificar lluvias o sequías (Havens y Jeppesen, 2018), entre otras secuelas.

Las abundancias máximas del zooplancton están relacionadas con los eventos de máximos fitoplanctónicos de circulación y estratificación bien establecida, los cuales son regulares año con año, presentando variaciones en las abundancias relacionadas a la variabilidad climática (Alcocer *et al.*, 2022; Fernández *et al.*, 2022). Tomando en cuenta estas variaciones, se plantearon varias preguntas; la primera fue si las abundancias mínimas y máximas del zooplancton están relacionadas con alguno de los eventos del ENSO, la segunda fue determinar si los eventos de El Niño y La Niña tienen el mismo efecto sobre las abundancias del zooplancton cuando el fenómeno ocurre durante la circulación o cuando ocurre durante la estratificación, y la tercera fue establecer si el ENSO influye en el aumento o disminución de la biomasa de los productores primarios expresado como clorofila *a*.

Material y métodos

Área de estudio

El lago Alchichica está ubicado a 19°24'N y 97°24'W en la cuenca endorreica Serdán-Oriental, a una altitud de 2,326 m. La temperatura del aire varía desde -5.5 a 30°C, con una media de 14.4 °C (García, 2004). La precipitación anual es inferior a 500 mm, en contraste la evaporación es de 1,690 mm. La superficie del lago es de 2.3 km², con un volumen de agua de 114,688,900 m³, la profundidad máxima alcanza los 62 m y la profundidad promedio es de 40.9 m. El lago es oligotrófico con baja concentración de nutrientes y clorofila en la capa de mezcla, presentando valores de clorofila *a* $\leq 5 \mu\text{g L}^{-1}$, $4.14 \pm 0.69 \mu\text{M}$ de nitrógeno total y $0.21 \pm 0.04 \mu\text{M}$ de fósforo total en la capa de mezcla (Ramírez-Olvera *et al.*, 2009). Es un lago salino (8.5 g \cdot L^{-1}) y alcalino con un pH de 9 (Vilaclara *et al.*, 1993).

Metodología

Para identificar los fenómenos de El Niño y La Niña se consultó el Índice Oceánico del Niño (ONI por sus siglas en inglés). Los datos se obtuvieron de la página de la NOAA (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst#oni>).

Se realizaron campañas de muestreo mensuales de 2009 a 2016. En la parte central y más profunda del lago se midieron perfiles verticales *in situ* de temperatura y oxígeno disuelto con ayuda de una sonda multiparamétrica de calidad del agua marca Hydrolab modelo DS4. Se obtuvieron muestras de agua duplicadas de diez profundidades a lo largo de la columna de agua utilizando una botella de muestra de agua de tipo Niskin marca Uwitec de 5 L.

El primer conjunto de diez muestras se utilizó para el análisis de concentración de clorofila-a total (Clor-a) y fraccionada por talla [grande (GClor-a > 2 µm) y pequeño (PClor-a < 2 µm y > 0.7 µm)]. Las muestras para Clor-a se analizaron en un fluorómetro Turner Design 10-AU siguiendo el método EPA 445.0 (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 µm) 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 con una 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 $PS = 7.6637L^{1.8911}$ para nauplios y $PS = 6.6705L^{2.0374}$ 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). Los valores de la clorofila y la biomasa del zooplancton se integraron en la columna de agua sobre área (m²) y se expresaron como g PS m⁻². Para determinar si existían diferencias significativas entre los años se realizó una prueba de prueba U de Mann-Whitney (Shahbaba 2012).

Resultados y discusión

El lago Alchichica presentó una hidrodinámica regular con un periodo de circulación de enero a marzo y una estratificación de abril a diciembre. Solo en el 2016 la circulación inició hasta febrero por lo que la estratificación duro diez meses. De acuerdo con el ONI se presentaron tres fenómenos La Niña moderadas, la primera durante la circulación del 2009 (Niña 09), la segunda inició a la mitad de la estratificación de 2011 y finalizó en la circulación de 2012 (Niña 11-12), y la última se observó a finales de la estratificación de 2016 (Niña 16). La Niña con intensidad y duración mayor (12 meses), abarcó casi todo el periodo de estratificación del 2010 y terminó a inicios de la estratificación del 2011 (Niña 10-11). Asimismo, se presentaron dos eventos El Niño, uno que inició a la mitad de la estratificación de 2009 y terminó en la circulación de 2010 (Niño 09-10) y el segundo, llamado “Godzilla” por su intensidad y duración, inició a finales de la estratificación de 2014 y terminó a inicios de la circulación, teniendo una duración de 18 meses y una anomalía máxima de 2.4 °C (Niño 14-16) (Figura 1).

Índice oceánico del fenómeno del Niño

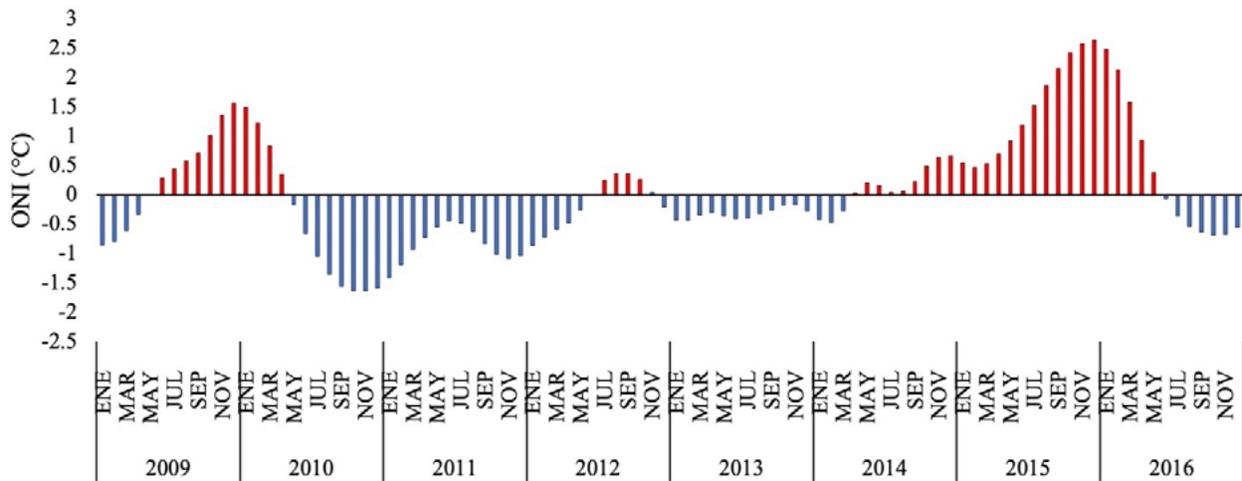


Figura 1. Índice oceánico del ENSO (ONI) de 1009 a 2016. Por arriba de la línea en rojo el índice indica el fenómeno de El Niño, por debajo de la línea en azul el índice indica el fenómeno de La Niña.

La mayor concentración de Clor-a durante los 8 años tuvo un promedio de $215 \pm 183 \text{ mg m}^{-2}$ con un mínimo de 15 mg m^{-2} que se presentó en noviembre de 2013 donde no se presentó ninguno de los eventos ENSO. La mayor parte de la Clor-a está compuesta por la clorofila de PClor-a que representa el 74%.

La mayor concentración de Clor-a se observó en la Niña11-12 con un promedio de $277 \pm 216 \text{ mg m}^{-2}$ presentándose el valor máximo en la circulación de 2012 con 636 mg m^{-2} y el valor mínimo se observó a finales de la estratificación de 2011. La menor concentración de Clor-a se encontró en la Niña16 con un promedio de $112 \pm 71 \text{ mg m}^{-2}$ en un intervalo de 63 a 238 mg m^{-2} (Figura 2). No se encontró una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la concentración de Clor-a en los diferentes eventos ENSO.

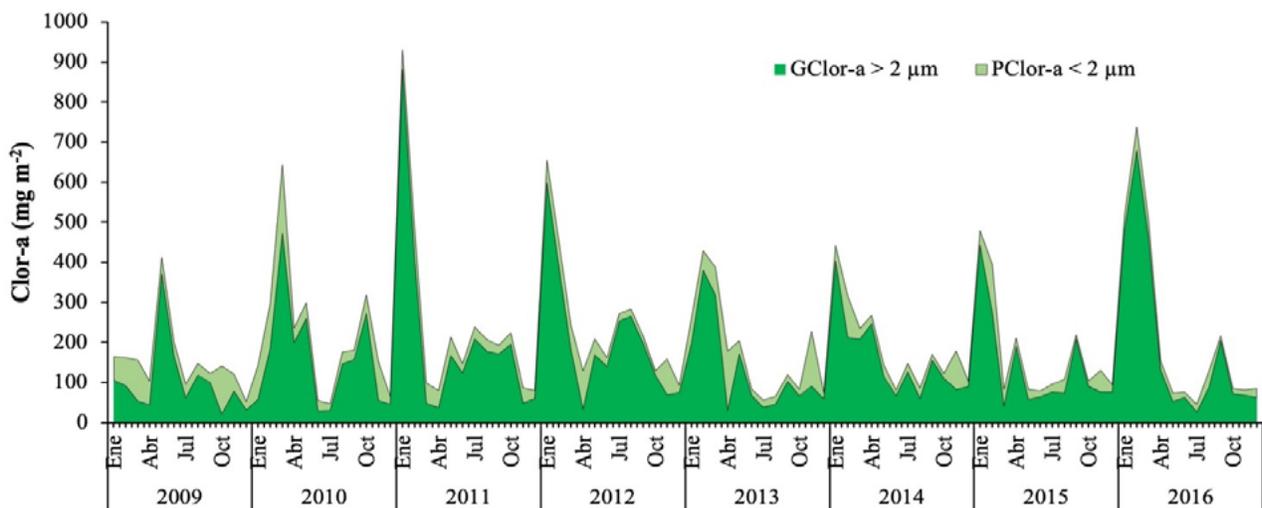


Figura 2. Dinámica temporal de la Clorofila-a grande (GClor-a >2) y clorofila-a de talla pequeña (PClor-a <2) de 2009 a 2016 en el Lago Alchichica, Puebla.

El copépodo *Leptodiatomus garciai* estuvo presente en todos los meses donde se identificaron los eventos del ENSO y aportó 99.87% del total de la biomasa. En la Niña 09 se observó su mayor biomasa con un promedio de $175 \pm 158 \text{ g PS m}^{-2}$ y un mínimo de 3 g PS m^{-2} y un máximo de 315 g PS m^{-2} . La menor biomasa se encontró en la Niña 16 donde los valores estuvieron por debajo del límite de detección

(Figura 3). La biomasa del copépodo en La Niña 09 fue casi 20 veces más mayor y diferente significativamente ($p < 0.05$) al promedio de los demás eventos del ENSO.

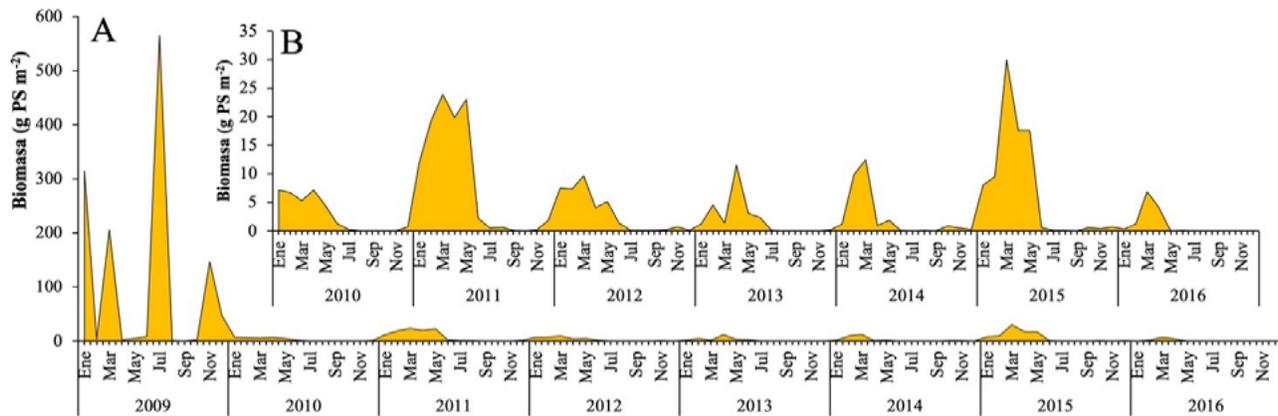


Figura 3. A. Variación de la biomasa de *L. garciai* de 2009 a 2016 en el lago Alchichica, Puebla. B Detalle de la biomasa del calanoide *L. garcia* de los años 2010 a 2016.

Brachionus sp. estuvo presente en todos los eventos del ENSO mientras que *Hexarthra* sp. solo estuvo ausente en la Niña 09. Ambos rotíferos aportaron el 0.12% de la biomasa total, *Brachionus* sp. aportó el 0.08% y *Hexarthra* sp. el 0.05%. La mayor biomasa de *Brachionus* sp. se observó en la Niña 11-12 con un promedio de 0.10 ± 0.21 g PS m⁻² y estuvo por debajo del límite de detección en la Niña 09 y en el Niño 14-16. *Hexarthra* sp. tuvo su mayor biomasa en la Niña 11-12 con un promedio de 0.21 ± 0.02 g PS m⁻² y la biomasa menor se observó en el Niño 14-16 con un promedio de 0.01 ± 0.00 g PS m⁻². No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los eventos del ENSO. (Figura 4)

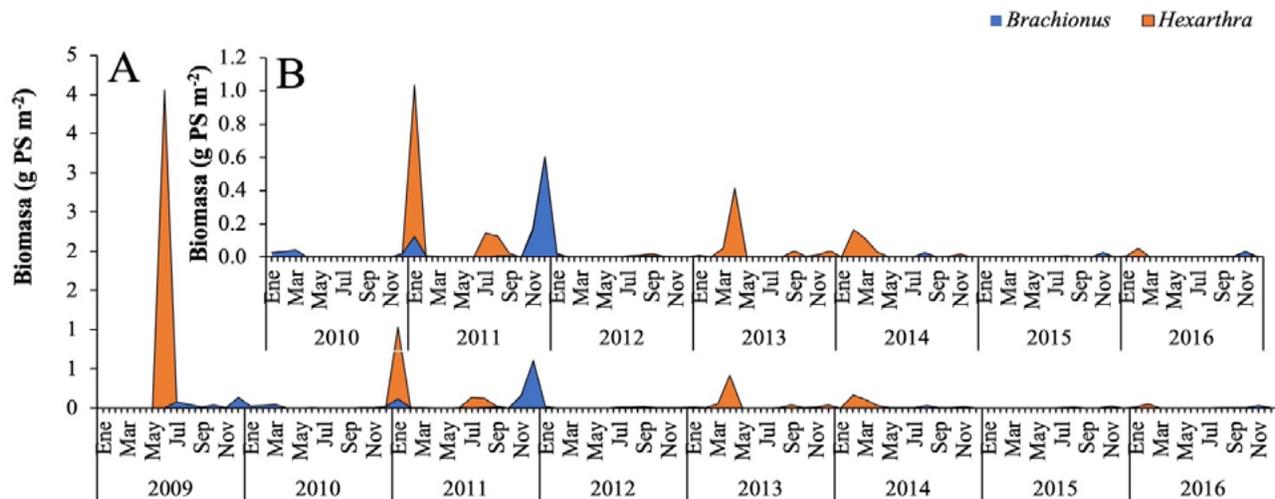


Figura 4. A. Variación de la biomasa de los rotíferos *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. DE 2009 A 2016 en el lago Alchichica, Puebla. B Detalle de la biomasa de los rotíferos *Brachionus* sp. y *Hexarthra* sp. años 2010 a 2016.

Conclusiones

El copépodo calanoide *Leptodiatomus garciai* fue la especie del zooplancton con mayor aporte de biomasa con el 99.87 % del total; *Hexarthra* sp. aportó el 0.05% y *Brachionus* sp. aportó el 0.08%. *L. garciai* registró su biomasa mayor durante la Niña 09 mientras que la de rotíferos se observó en la Niña



11-12. No se encontraron diferencia significativa entre eventos del ENSO para la biomasa de ninguno de los dos rotíferos; para la biomasa de *L. garciai* solo el año 2009 fue diferentes de los demás.

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., and A. Lugo. 2003. Effects of El Niño on the dynamics of Lake Alchichica, central Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3), 523–528.
- Alcocer, J., M. Merino-Ibarra, J. A. Ramírez-Zierold, L. A. Oseguera, D. Cortés-Guzmán, F. S. Castillo-Sandoval and M. G. Pérez-Ramírez, 2021. Lake Alchichica limnology. *Lake Alchichica Limnology. The Uniqueness of a Tropical Maar Lake; Springer Nature: Berlin/Heidelberg, Germany*, 491.
- Alcocer, J. y L. Oseguera, 2019. El cuerpo de agua. En Alcocer, J. *Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 244 p.
- Alcocer, J., and F. W. Bernal-Brooks. 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia*, 644(1), 1-54.
- Alcocer, J., A. Lugo, E. Escobar, M. D. R. Sánchez y 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.
- Becker, V., V. L. M. Huszar and L. O Crossetti. 2009. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia*, 628, 137-151.
- 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. *Limnology and Oceanography* 60: 2158-2172.
- González Contreras, C. G., J. Alcocer and L. Alberto Oseguera. 2015. Phytoplanktonic chlorophyll a in the tropical deep lake Alchichica: a long-term record (1999-2010). *Hidrobiológica*, 25(3), 347-356.
- Havens, K. and E. Jeppesen. 2018. Ecological responses of lakes to climate change. *Water*, 10(7), 917.
- Montiel, A. y J. Ciros. 2019. Plancton. En Alcocer, J. *Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad*. Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 244 p
- Ortega-Mayagoitia, E., J. A. Alcántara-Rodríguez, A. Lugo-Vázquez, A. Montiel-Martínez and J. Ciros-Pérez. 2022. Metazooplankton: The joys and challenges of living in a saline, oligotrophic, warm monomictic lake. In *Lake Alchichica Limnology: The Uniqueness of a Tropical Maar Lake* (pp. 237-260). Cham: Springer International Publishing.
- Osorio-Tafall, B. F. 1942. Un *Diaptomus* del México Central (Copepoda, Diaptomidae). *Revista Brasileira de Biología* 2: 147-154.
- 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.
- Roldán, G. 1992. *Fundamentos de limnología neotropical. Medellín*. Editorial Universidad de Antioquia. pp. 205-223.
- Shahbaba B. 2012. *Biostatistics with R*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London
- Shimoda, Y., M. E. Azim, G. Perhar, M. Ramin, M. A. Kenney, S. Sadraddini, A. Gudimov and G. B. Arhonditsis. 2011. Our current understanding of lake ecosystem response to climate change: what have we really learned from the north temperate deep lakes?. *Journal of Great Lakes Research*, 37(1), 173-193.
- Vadadi-Fülöp, C., C. Sipkay, G. Mészáros and L. Hufnagel. 2012. Climate change and freshwater zooplankton: what does it boil down to?. *Aquatic Ecology*, 46, 501-519.
- 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. In *Lake Alchichica Limnology: The Uniqueness of a Tropical Maar Lake* (pp. 197-211). Cham: Springer International Publishing.
- Villalobos, G.U. 2006. Ciclo anual de estratificación y circulación en el Embalse Arenal, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 257-263.
- Shahbaba, B. 2012. *Biostatistics with R*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London



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

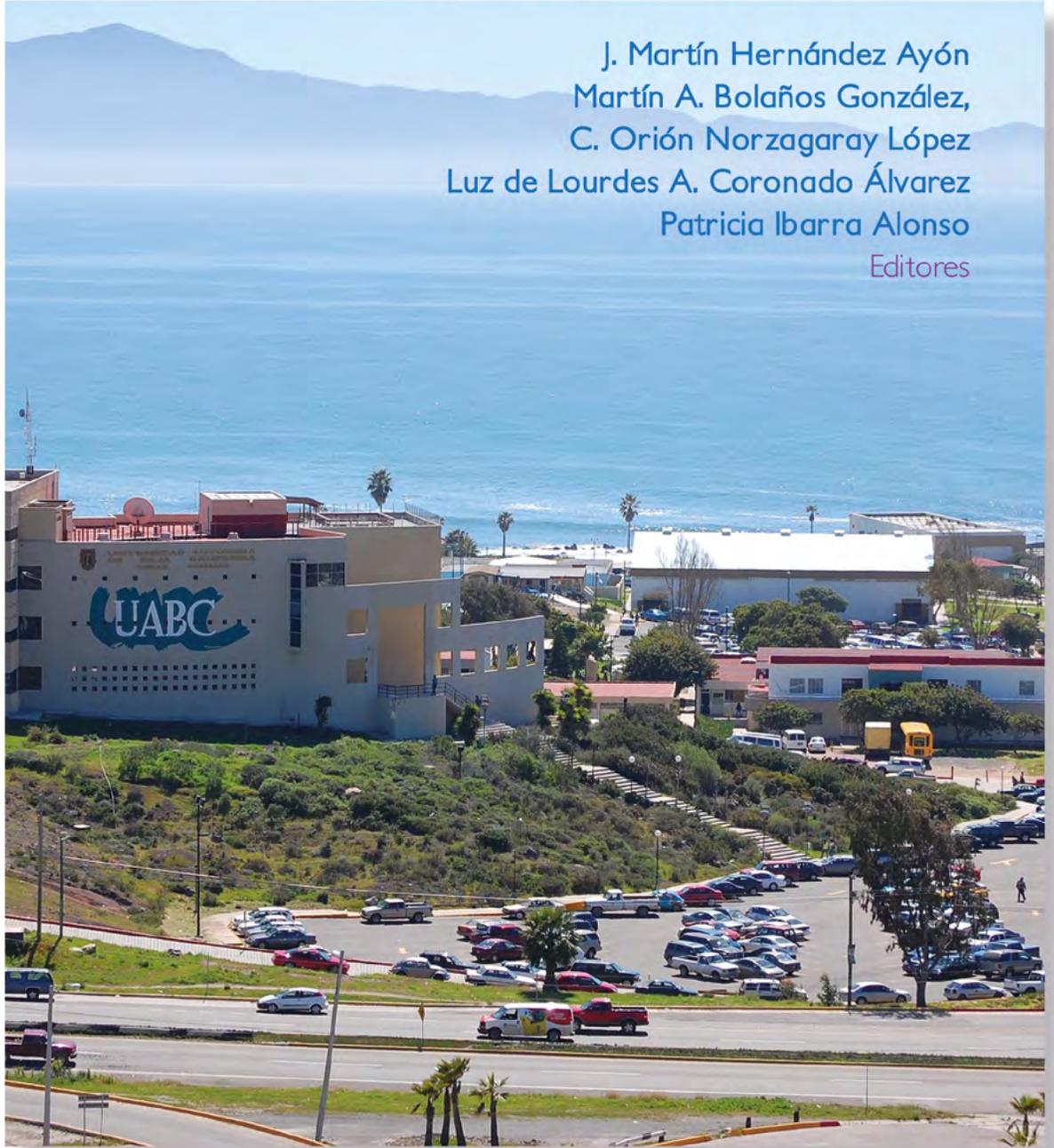
PROGRAMA MEXICANO DEL CARBONO

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