

4.3. Carbono orgánico disuelto en dos lagos tropicales de alta montaña

Rivera-Herrera Montserrat¹; Alcocer Javier^{2,*}; Soria-Reinoso Ismael¹; Vargas-Sánchez Mariana³ y Oseguera Luis A.²

¹Programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

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

³Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

*Autor para correspondencia: jalcocer@unam.mx

Resumen

Se evaluó la concentración del carbono orgánico disuelto (COD) en los únicos lagos de alta montaña (LAM) en México: El Sol y La Luna, en el Nevado de Toluca, durante un periodo anual de marzo de 2022 a marzo de 2023. Las muestras fueron tomadas mensualmente en superficie y fondo de cada lago, así como también el registro de variables ambientales. Las concentraciones de COD en El Sol fueron 4 veces mayores ($7.9 \pm 1.6 \text{ mg L}^{-1}$) a los de La Luna ($1.8 \pm 0.9 \text{ mg L}^{-1}$), debido, probablemente, al mayor aporte de carbono orgánico autóctono, es decir, a que El Sol presenta condiciones de oligotrofia en comparación con las de ultraoligotrofia de La Luna. Durante la época de secas las concentraciones de COD se encontraron por encima de la media de cada lago, $8.3 \pm 1.7 \text{ mg L}^{-1}$ en El Sol y $2.1 \pm 1.2 \text{ mg L}^{-1}$ en la Luna, debido a los vientos que en esta temporada aportan compuestos orgánicos provenientes de tierras agrícolas que rodean la base del volcán.

Palabras clave: COD; lagos de alta montaña; Nevado de Toluca; México.

Abstract

The concentration of dissolved organic carbon (DOC) was evaluated in the only high mountain lakes (HML) in Mexico, El Sol and La Luna, in Nevado de Toluca, during an annual period from March 2022 to March 2023. Samples were taken monthly on the surface and bottom of each lake, and environmental variables were recorded. The DOC concentrations in El Sol were 4 times higher ($7.9 \pm 1.6 \text{ mg L}^{-1}$) than those in La Luna ($1.8 \pm 0.9 \text{ mg L}^{-1}$), probably due to the greater contribution of autochthonous organic carbon; that is, El Sol presents conditions of oligotrophy compared to the ultra-oligotrophy of La Luna. During the dry season, COD concentrations were found to be above the average for each lake, $8.3 \pm 1.7 \text{ mg L}^{-1}$ on El Sol and $2.1 \pm 1.2 \text{ mg L}^{-1}$ on La Luna due to the winds of this season that carry organic compounds from agricultural lands that surround the base of the volcano.

Keywords: DOC; high mountain lakes; Nevado de Toluca; México.

Introducción

El carbono orgánico disuelto (COD) es un modulador importante de la estructura y función de los ecosistemas, por ejemplo, como regulador de la producción primaria ya que sus propiedades de absorción impiden la fotosíntesis, mientras que al mismo tiempo sirve de sustrato para los organismos heterótrofos como bacterias (Sobek *et al.*, 2007). En muchos sistemas acuáticos epicontinentales (SAE), el COD constituye el reservorio más grande de carbono orgánico en la columna de agua, sobrepasando el del fitoplancton a excepción de los sistemas eutróficos (Prairie y Cole, 2022), por lo que constituye un componente muy importante del ciclo del carbono (C), ya que mantienen diversos procesos que involucran su mineralización y/o degradación (Catalán *et al.*, 2013). El COD es una mezcla muy heterogénea de diferentes compuestos orgánicos que son constituidos tanto por carbono autóctono como por carbono alóctono (Sobek *et al.*, 2007).

Los lagos de alta montaña (LAM) son ecosistemas situados sobre la línea de crecimiento arbóreo (> 4,000 m s.n.m.); debido a su alta sensibilidad a las variables ambientales, ya sea cambios en el paisaje o en la atmósfera circundante (Williamson *et al.*, 2008) son considerados como centinelas de cambio climático a nivel mundial (Adrian *et al.*, 2009). Los LAM se encuentran en cuencas aisladas, frecuentemente están alejados de los grandes desarrollos urbanos, razón por la cual es difícil que tengan influencia por el acarreo de material y por la contaminación de otras cuencas (Mosello *et al.*, 2002). Generalmente se caracterizan por tener un bajo contenido de nutrientes, pH y COD (Sommaruga, 2001). La mayoría de los estudios se han realizado en LAM de latitudes templadas y éstos han mostrado la relevancia del COD en la dinámica del C en estos ecosistemas. Sin embargo, se desconoce el papel del COD en los LAM tropicales, de esta manera, el objetivo del presente trabajo busca evaluar la dinámica anual de la concentración del COD en los dos únicos LAM en México: El Sol y La Luna.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Los lagos El Sol y La Luna se ubican dentro del volcán Nevado de Toluca, Estado de México, a una altitud de 4,200 m s.n.m. (Figura 1). La zona presenta un clima frío a semifrío húmedo, con una temperatura entre 2 y 12 °C y precipitación anual de 1,067 mm (periodo 1964-2023; estación 15062; SMN, 2023). La precipitación debajo del promedio anual ocurre de octubre a abril (secas) y los valores con mayor precipitación ocurren entre julio y agosto (Ibarra-Morales *et al.*, 2022). Ambos lagos son pequeños (área máxima: El Sol, 229,836 m²; La Luna, 30,466 m²), someros (profundidad máxima: El Sol, 15 m; La Luna, 10 m), fríos (temperatura media de columna de agua: El Sol, 8.5 ± 1.9 °C; La Luna, 8.3 ± 2.1 °C) y transparentes (profundidad de disco de Secchi: El Sol, 5.4 ± 1.0 m; La Luna, 9.1 ± 1.8 m) (Ibarra-Morales *et al.*, 2022).

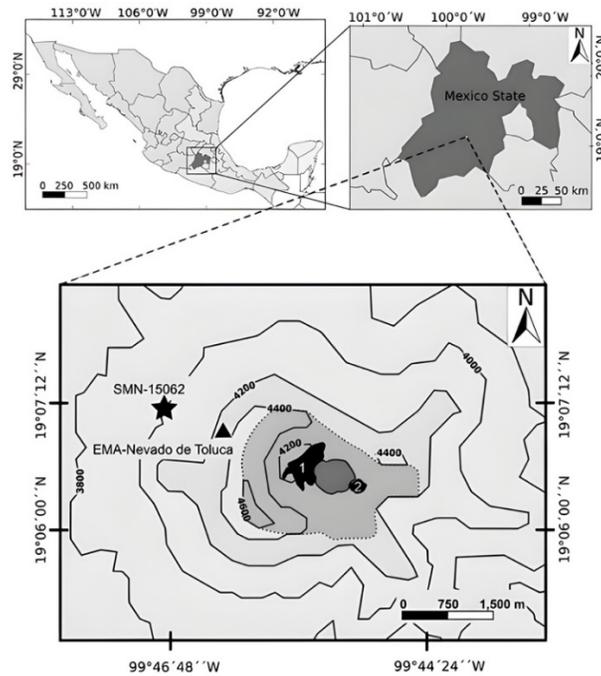


Figura 1. Lagos El Sol y La Luna, cráter del volcán Nevado de Toluca, Estado de México (tomado de Ibarra-Morales *et al.*, 2022).

Metodología

Se realizaron muestreos mensuales a lo largo de un ciclo anual (marzo de 2022 a marzo de 2023). En éstos se registraron perfiles *in situ* metro a metro a lo largo de la columna de agua de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), pH y conductividad eléctrica (K_{25}) con una sonda multiparamétrica Hydrolab DS5. Con una botella muestreadora UWITEC de 5L, se colectaron muestras de agua de superficie y fondo para medir la concentración de COD y clorofila *a* (Clor-*a*). El COD se obtuvo por duplicado a partir de filtrar 60 mL de agua a través de filtros pre-combustionados Whatman GF/F (0.7 μm), las muestras filtradas se guardaron en frascos ámbar; enseguida se acidificaron con H_3PO_4 al 40% para posteriormente ser almacenados en oscuridad y frío. La concentración de COD se midió en un analizador Shimadzu TOC-L por el método de combustión a alta temperatura de compuestos no purgables (Dickson *et al.*, 2007) en el Centro de Ciencias Marinas de la Universidad de Carolina del Norte en Wilmington. La clorofila *a* (Clor-*a*) se determinó con el método 445.0 de la EPA (Arar y Collins, 1997). Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) para determinar diferencias significativas de las variables ambientales y la concentración del COD entre temporadas y lagos.

Resultados y Discusión

Las variables ambientales que no presentaron diferencias temporales significativas ($p > 0.05$) en cada lago fueron la T y el OD. Por otro lado, El Sol y La Luna fueron diferentes en el pH, la K_{25} y la concentración de Clor-a (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables ambientales de los lagos El Sol y La Luna (marzo de 2022 a marzo de 2023).

	El Sol					La Luna				
	T (°C)	OD (mg L ⁻¹)	pH	K ₂₅ (μS cm ⁻¹)	Clor-a (μg L ⁻¹)	T (°C)	OD (mg L ⁻¹)	pH	K ₂₅ (μS cm ⁻¹)	Clor-a (μg L ⁻¹)
Promedio	9.4	6.7	8.2	42.6	1.0	9.8	6.8	5.1	10.4	0.3
D.E.	2.0	1.7	0.8	2.8	0.4	1.7	0.6	1.0	0.7	0.1
Mínimo	5.9	4.6	6.3	38.7	0.4	7.6	6.0	3.2	9.6	0.2
Máximo	12.5	9.1	8.9	46.1	1.4	12.7	8.1	6.7	12.1	0.4

T = temperatura, OD = oxígeno disuelto, K₂₅ = conductividad eléctrica estandarizada a 25 °C, Clor-a = clorofila a, D.E. = desviación estándar.

Por lo que se refiere al COD, en El Sol la concentración promedio en agua superficial fue de 8.1 ± 1.8 mg L⁻¹, con un mínimo de 6.2 ± 0.2 mg L⁻¹ en marzo de 2022 y un máximo de 11.0 ± 0.3 mg L⁻¹ en febrero de 2023; mientras que el agua de fondo presentó un promedio de 7.6 ± 1.5 mg L⁻¹, un mínimo de 5.7 ± 0.1 mg L⁻¹ en marzo de 2022 y un máximo de 11.0 ± 0.3 mg L⁻¹ en febrero de 2023 (Fig. 2).

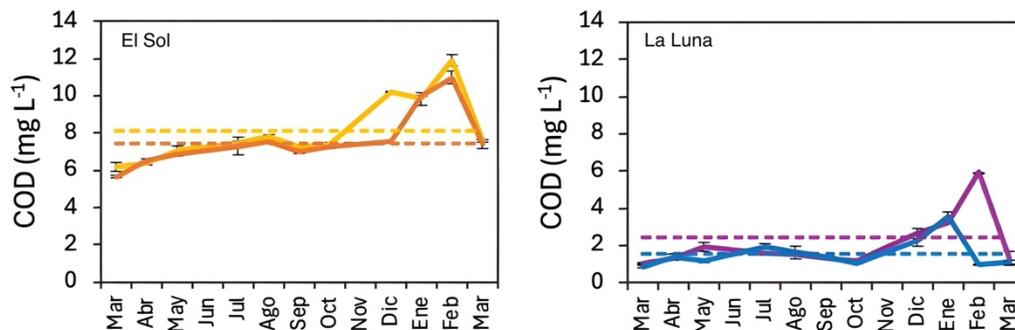


Figura 2. Concentración del COD en El Sol (línea amarilla agua superficial; línea naranja agua de fondo) y La Luna (línea morada agua superficial; línea azul agua de fondo) a lo largo del año de estudio. Las líneas punteadas indican el promedio por profundidad del COD.

En La Luna, en agua superficial la concentración promedio de COD fue 2.1 ± 1.4 mg L⁻¹, el mínimo 1.1 ± 0.02 mg L⁻¹ durante marzo de 2022 y el máximo 5.9 ± 0.00 mg L⁻¹ en febrero de 2023; mientras que en el agua de fondo la concentración promedio fue 1.6 ± 0.8 mg L⁻¹, la mínima 0.9 ± 0.1 mg L⁻¹ en marzo de 2023 y la máxima 3.6 ± 0.2 mg L⁻¹ en enero de 2023 (Figura 2).

No se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la concentración de COD entre superficie y fondo en los dos lagos. Las concentraciones de COD en El Sol fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) a las de La Luna. En El Sol fueron 4 veces mayores (7.9 ± 1.6 mg L⁻¹) que en La Luna (1.8 ± 0.9 mg L⁻¹). Lo anterior se debe muy probablemente a que El Sol es más productivo que La Luna, esto es, El Sol se clasifica como oligotrófico a diferencia de La Luna que es ultraoligotrófico (Alcocer *et al.*, 2020). El fitoplancton y algas bentónicas al descomponerse resultan en un aumento de la concentración de COD. Soria-Reinoso *et al.* (2023) mencionan que la materia orgánica disuelta cromofórica (CMOD) en El Sol es de menor peso molecular (PM) en comparación con La Luna, esto se asocia a la acumulación y descomposición microbiana de la vegetación sumergida y al fitoplancton, por lo que la mayor contribución de materia orgánica disuelta (MOD) y por lo tanto del COD es autóctona.

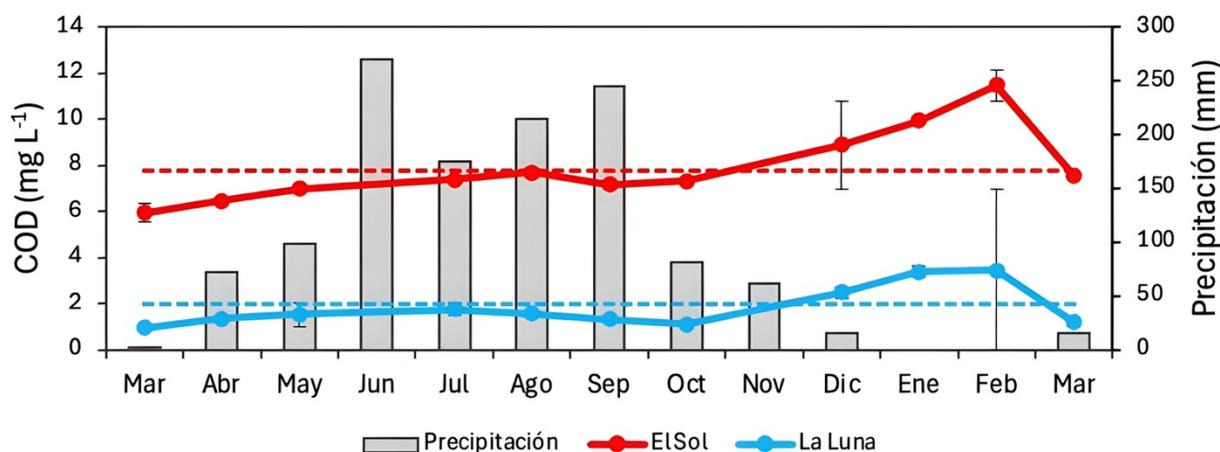


Figura 3. Concentración del COD promedio de la columna de agua a lo largo del año de estudio en El Sol (rojo) y La Luna (azul). Las líneas punteadas indican el promedio del COD en cada lago.

No se presentaron diferencias significativas entre las temporadas en ningún lago, no obstante, se observó que en la temporada de secas se presentaron concentraciones mayores de COD en ambos lagos. En El Sol, la temporada de secas presentó concentraciones mayores ($8.3 \pm 1.7 \text{ mg L}^{-1}$) con respecto a la de lluvias ($7.1 \pm 0.5 \text{ mg L}^{-1}$), siendo marzo de 2023 cuando se presentó la concentración mínima de $5.9 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$ y en febrero de 2023 la concentración máxima de $10.2 \pm 2.4 \text{ mg L}^{-1}$ (Fig. 3). En La Luna, la temporada de secas presentó mayores concentraciones ($2.1 \pm 1.2 \text{ mg L}^{-1}$) con respecto a la de lluvias ($1.9 \pm 0.9 \text{ mg L}^{-1}$), durante marzo de 2022 se presentó la concentración mínima ($1.0 \pm 0.1 \text{ mg L}^{-1}$) y en febrero de 2023 la concentración máxima ($3.5 \pm 3.5 \text{ mg L}^{-1}$) (Figura 3).

Las concentraciones mayores de COD tanto en El Sol como en La Luna en la temporada de secas pueden explicarse porque durante esta temporada, debido a los vientos dominantes que soplan en dirección SO-NE, existe un aporte de compuestos orgánicos provenientes de tierras agrícolas que rodean la base del volcán Nevado de Toluca (Ibarra-Morales *et al.*, 2020). Además, de acuerdo con Soria-Reinoso *et al.* (2023) la CMOD en la temporada de secas fue de alto PM, es decir MOD terrígena menos degradada y aromática, lo que puede a su vez aportar una mayor cantidad de COD durante estos meses de secas.

Las concentraciones del COD en El Sol y La Luna, son similares al de la mayoría de lagos alrededor del mundo $< 30 \text{ mg L}^{-1}$, con una media de $7.58 \pm 0.19 \text{ mg L}^{-1}$ (Sobek *et al.*, 2007). De acuerdo con valores de COD en lagos de montaña, La Luna tiene valores similares a estos, en cambio El Sol presenta concentraciones mayores: lagos de Alpes Austriacos con un rango de $0.24 - 2.48 \text{ mg L}^{-1}$ (Sommaruga *et al.*, 1999) y lagos de la zona noreste del estado de Wagshnton en Estados Unidos con un rango de 0.3 a 2.2 mg L^{-1} (Juetten *et al.*, 2022). A diferencia de estos lagos (y de La Luna) en donde las condiciones son de ultraoligotrofia y sin la presencia de otro tipo de productor primario, El Sol presenta condiciones de oligotrofia, además de la presencia de algas bentónicas que pueden estar aportando al reservorio del COD al descomponerse. Además, a diferencia de la Luna donde la MOD es rápidamente degradada por la alta radiación ultravioleta, El Sol puede presentar menores tasas de fotodegradación de la MOD (Soria-Reinoso *et al.*, 2023) y por lo tanto del DOC.



Conclusiones

Las concentraciones de COD en El Sol fueron 4 veces mayores ($7.9 \pm 1.6 \text{ mg L}^{-1}$) a los de La Luna ($1.8 \pm 0.9 \text{ mg L}^{-1}$), esto es debido al mayor aporte de carbono orgánico autóctono, es decir a que El Sol presenta condiciones de oligotrofia en comparación con La Luna (ultraoligotrofia). A pesar de no presentar diferencias significativas entre temporadas, las mayores concentraciones de COD en ambos lagos se presentaron durante la temporada de secas (El Sol, $8.3 \pm 1.7 \text{ mg L}^{-1}$; La Luna, $2.1 \pm 1.2 \text{ mg L}^{-1}$) con respecto a la temporada de lluvias (El Sol, $7.1 \pm 0.5 \text{ mg L}^{-1}$; La Luna, $1.9 \pm 0.9 \text{ mg L}^{-1}$) probablemente a que en esta temporada los vientos traen consigo compuestos orgánicos provenientes de tierras agrícolas que rodean la base del volcán Nevado de Toluca.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por los proyectos PINCC 2020-2021 “Cuerpos Acuáticos Epicontinentales: Papel de la Dinámica del Carbono y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en México”, PINCC 2023 “Cuerpos Acuáticos Epicontinentales: Papel en la Dinámica del Carbono y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en México. Segunda parte. Eutroficación y Emisión de GEI” y PAPCA 2022 “Dinámica de los almacenes de carbono de dos lagos tropicales de alta montaña y procesos biogeoquímicos involucrados”. Un agradecimiento a la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna de la Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México, que autorizó el desarrollo de esta investigación en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Asimismo, se agradece al Programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM y a los colegas de la FES Iztacala por el trabajo de campo.

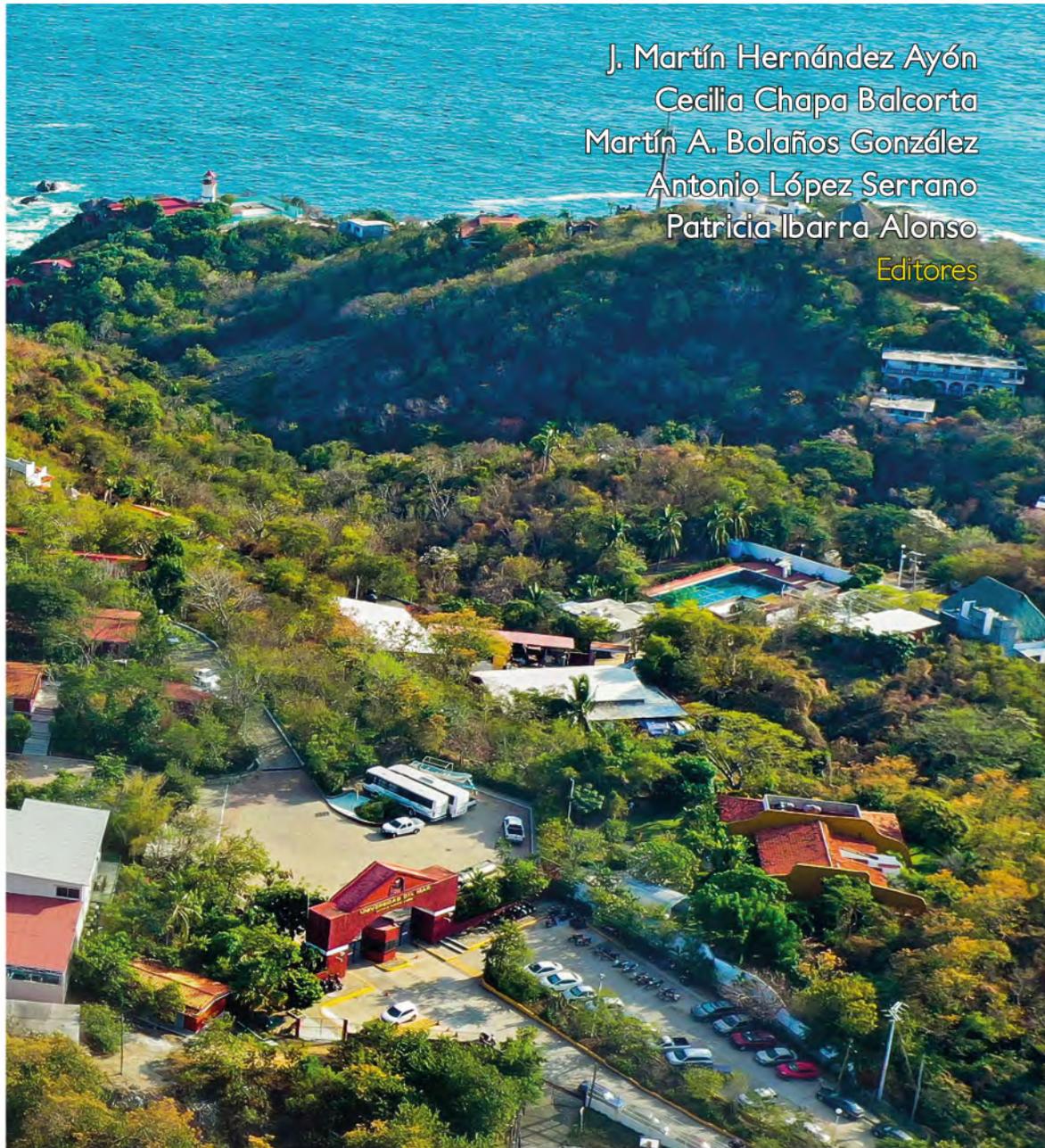
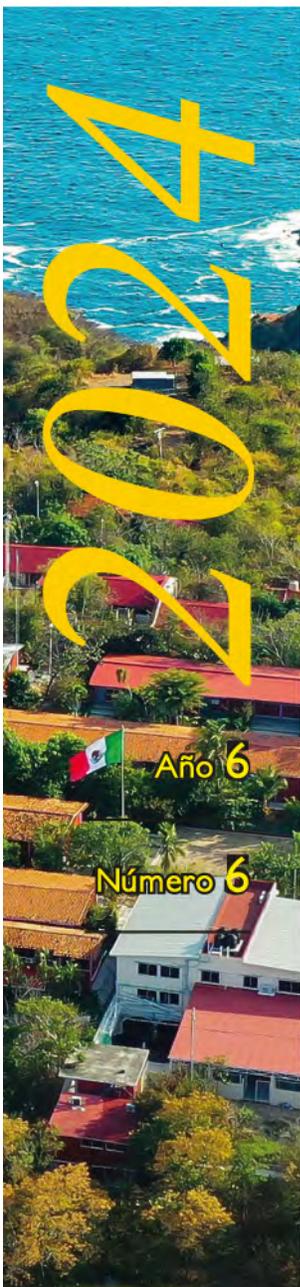
Literatura citada

- Adrian, R., C. M. O'Reilly, H. Zagarese, S. B. Baines, D. O. Hessen, W. Keller, D. M. 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.
- Alcocer, J., J. Roberson., L. A. Oseguera and W. M. Lewis Jr. 2020. Rhythmic episodes of heating and cooling control thermal stratification of two tropical high mountain lakes. *Aquatic Sciences* 82:1-11.
- Arar, E. J., and Collins, G. B. 1997. *Method 445.0: In vitro determination of chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence* (p. 22). Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Exposure Research Laboratory.
- Catalán, N., B. Obrador, M. Felip, and J. L. Pretus. 2013. Higher reactivity of allochthonous vs. autochthonous DOC sources in a shallow lake. *Aquatic Sciences* 75:581–593. <https://doi.org/10.1007/s00027-013-0302-y>.
- Dickson, A. G., C. L. Sabine and J. R. Christian (eds.). 2007. Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3. North Pacific Marine Science Organization. Canada. 191 p.
- Ibarra-Morales, D., J. Alcocer, L. A. Oseguera, and R. Sosa-Echeverría. 2020. Bulk Deposition and Main Ionic Composition in a Remote Tropical Region: Nevado de Toluca, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution* 231. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04785-7>.
- Ibarra-Morales, D., R. A. Silva-Aguilera, L. A. Oseguera, M. Merino-Ibarra, and J. Alcocer. 2022. Impacts of global change on two tropical, high mountain lakes in Central Mexico. *Science of The Total Environment* 852:158521. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.158521>.
- Juetten, K., Strecker, A. L., Harrison, A., Landram, Z., De Bruyn, W. J., and Clark, C. D. 2022. Chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon in lakes across an elevational gradient from the mountains to the sea. *Earth and Space Science*, 9(12), e2022EA002503.
- Mosello, R., A. Lami, A. Marchetto, M. Rogora, B. Wathne, L. Lien, J. Catalan, L. Camarero, M. Ventura, R. Psenner, K. Koinig, H. Thies, S. Sommaruga-Wögrath, U. Nickus, D. Tait, B. Thaler, A. Barbieri and R. Harriman. 2002. Trends in the water chemistry of high altitude lakes in Europe. *Water, Air and Soil Pollution. Focus* 2:75-89.
- Prairie, Y.T. and J. J. Cole. 2022. The Carbon Cycle in Lakes: A Biogeochemical Perspective. Editor(s): Thomas Mehner, Klement Tockner. *Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)*, Elsevier. Pages 89-101, ISBN 9780128220412. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00055-4>.
- SMN-CONAGUA. 2023. Información Estadística Climatológica. México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex> (Consulta: agosto 5, 2024).
- Sobek, S., L. J. Tranvik, Y. T. Prairie, P. Kortelainen, and J. J. Cole. 2007. Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes. *Limnology and Oceanography* 52:1208–1219. <https://doi.org/10.4319/LO.2007.52.3.1208>.
- Sommaruga, R., R. Psenner., E. Schaffner., K. A. Koinig and S. Sommaruga-Wögrath. 1999. Dissolved Organic Carbon Concentration and Phytoplankton Biomass in High-mountain Lakes of the Austrian Alps: Potential Effect of Climatic Warming on UV Underwater Attenuation. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 31:247-253.
- Sommaruga, R. 2001. The role of solar UV radiation in the ecology lakes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B Biology* 62:35-42.
- Soria-Reinoso, I., J. Alcocer, L.A. Oseguera-Pérez, E.M., Rivera-Herrera, M., Vargas-Sánchez y D. Ibarra-Morales. 2023. Dinámica de la materia orgánica cromofórica (CDOM) en dos lagos tropicales de alta montaña en el centro de México. 43-51. En: Hernández Ayón J. M.; Bolaños González M. A.; Norzagaray López C. O.; Coronado Álvarez L. e Ibarra Alonso P. (Editores). *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.
- Williamson, C. E., W. Doods., T. K. Kratz and M. A. Palmer. 2008. Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:247-254.



Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México. Síntesis a 2024

PROGRAMA MEXICANO DEL CARBONO



J. Martín Hernández Ayón
Cecilia Chapa Balcorta
Martín A. Bolaños González
Antonio López Serrano
Patricia Ibarra Alonso
Editores



Forma correcta de citar:

Hernández Ayón J. M.; Chapa Balcorta C.; Bolaños González M. A.; López Serrano A.; e Ibarra Alonso P. (Editores). 2024. Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2024. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad del Mar (UMAR). Texcoco, Estado de México, México. ISSN 2954-4882. 254 p.

Programa Mexicano del Carbono
Calle Morelos No. 17
Colonia San Simón, C.P. 56210, Texcoco, Estado de México, México.

www.pmc carbono.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 6, No. 6, enero - diciembre de 2024. Es una publicación anual editada por el Programa Mexicano del Carbono, A.C., calle Morelos No. 17, Colonia San Simón, C.P. 56210, Texcoco, Estado de México, México. Tel. +52 (595) 951•2182, www.pmc carbono.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 Morelos No. 17, Colonia San Simón, C.P. 56210, Texcoco, Estado de México, México, fecha de última modificación, diciembre de 2024.

Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2024

J. Martín Hernández Ayón, Cecilia Chapa Balcorta,
Martín A. Bolaños González, Antonio López Serrano
y Patricia Ibarra Alonso

EDITORES

Programa Mexicano del Carbono (PMC)

Universidad del Mar (UMAR)

Puerto Ángel, Oaxaca, México

Diciembre 2024