

BASE DE DATOS DEL CARBONO EN CUERPOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES DE MÉXICO

CARBON DATABASE IN EPICONTINENTAL AQUATIC BODIES OF MEXICO

Javier Alcocer^{1‡}, Margarita Caballero², Ana Carolina Ruiz-Fernández³, Luis A. Oseguera-Pérez¹,
Joan Albert Sánchez-Cabeza⁴, José Daniel Cuevas-Lara⁵ e Ismael Fabián Soria-Reinoso⁵

¹Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala. Tlalnepantla 54090, Estado de México, México.

²Laboratorio de Paleolimnología. Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Ciudad de México, México.

³Unidad Académica Mazatlán. Instituto de Ciencia del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Calzada Joel Montes Camarena s/n, Colonia Playa Sur, 82040 Mazatlán, México.

⁴Unidad Académica Procesos Oceánicos y Costeros. Instituto de Ciencia del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 04510, Ciudad de México, México.

⁵Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Ciudad Universitaria 3000, C.P. 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

[‡]Autor para correspondencia: jalcocer@unam.mx, jalcocerd@gmail.com

RESUMEN

Reconocer el papel que juegan los ecosistemas acuáticos epicontinentales mexicanos en el ciclo regional y global de carbono, requiere no solo evaluar los almacenes y flujos de carbono (C), para mejorar la precisión de las modelaciones y los balances a nivel global, sino que también es necesario el comprender su dinámica tanto natural como la asociada a las perturbaciones antropogénicas. Para iniciar con esta labor, en este trabajo se realizó una compilación de documentos en literatura convencional y gris asociada a los almacenes y flujos de C en ecosistemas acuáticos epicontinentales de México, lo que permitió caracterizar las magnitudes y variaciones de C en sus almacenes y flujos. Los resultados de este esfuerzo se presentan y se plantean recomendaciones para su seguimiento.

Palabras clave: *ecosistemas acuáticos epicontinentales; dinámica del carbono; ecosistemas tropicales; lagos; ríos.*

ABSTRACT

Recognizing the role Mexican epicontinental aquatic ecosystems play in the regional and global carbon (C) cycle requires not only the evaluation of carbon (C) stocks and fluxes, but also it is required to comprehend their natural dynamics and the anthropic effects on it. In this essay, we carried out a compilation of articles and grey literature related to C stocks and fluxes in the different epicontinental aquatic ecosystems of Mexico, which allow us to characterize the magnitude and variations of C stocks and fluxes. Herein we show the results of this compilation and provide recommendations to follow-up and improvements.

Key words: *epicontinental aquatic ecosystems; carbon dynamics; tropical ecosystems; lakes; rivers.*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuáticos epicontinentales tenían una representación limitada en los balances y estimaciones de carbono (C) a nivel regional y global, ya que eran considerados típicamente como medios pasivos de transporte de C y productos del intemperismo (*e.g.*, iones disueltos y sedimento) entre el sistema terrestre y el oceánico (Aufdenkampe *et al.*, 2011). Sin embargo, el incremento de estudios ha demostrado que, aunque las aguas epicontinentales representan una pequeña fracción de la superficie terrestre (alrededor del 1%) y del volumen de agua planetario, lo que los hace muy vulnerables, desempeñan un papel fundamental en la articulación del ciclo global del C (Hope *et al.*, 1994; Tranvik *et al.*, 2018).

A partir de 2007 (Cole *et al.*, 2007) se aceptó ampliamente la idea de que los ecosistemas acuáticos epicontinentales no son conductos pasivos de C hacia el océano, sino que también funcionan simultáneamente como una interfaz activa para el intercambio de C entre los ecosistemas terrestres (sumidero en los sedimentos) y la atmósfera (fuentes de CO₂ y CH₄). Asimismo, se consideran ecosistemas dinámicos que sostienen la producción y la respiración y, por ende, el metabolismo y las complejas redes tróficas acuáticas (Battin *et al.*, 2009; Tranvik *et al.*, 2018). Por lo anterior, su contribución colectiva en el ciclo de C global es considerable en comparación con los sistemas terrestres y marinos, pues pueden almacenar, procesar y liberar más de la mitad del C que reciben (Cole *et al.*, 2007; Tranvik *et al.*, 2009).

En los ecosistemas acuáticos se llevan a cabo diversos procesos biogeoquímicos en los que participan compuestos de C que dan por resultado un intercambio entre sus formas particuladas, disueltas y gaseosas (Butman y Raymond, 2011; Raymond *et al.*, 2013). Por ejemplo, el C atmosférico es asimilado a través de la fotosíntesis e intemperismo químico y posteriormente es transportado hacia el océano a través del continuo acuático (Hope *et al.*, 1994; Le Quéré *et al.*, 2018). En este sentido, aunque gran parte del C fluvial proviene del CO₂ atmosférico, un porcentaje considerable de la fracción inorgánica es suministrado por la erosión y meteorización física y química de los carbonatos (Amiotte-Suchet *et al.*, 2003). A pesar de su importancia en estos procesos biogeoquímicos, la información existente sobre los aportes de C fluvial al océano es aún insuficiente y su papel ha sido minimizado en comparación con los sistemas terrestres y marinos (IPCC, 2013; Le Quéré *et al.*, 2018; McKee *et al.*, 2004).

Los lagos, estanques, arroyos, ríos y reservorios son ambientes intermediarios que transportan, secuestran y transforman el carbono antes de que éste alcance el ambiente costero (Liu *et al.*, 2010). Además, son ecosistemas dinámicos que presenta producción primaria y secundaria que mantiene el metabolismo acuático y las complejas redes tróficas (Butman *et al.*, 2018).

Aunque los sistemas lóticos representan apenas el 0.3% del planeta, son ambientes intermediarios que actúan como integradores naturales de los procesos superficiales que se generan en la cuenca de drenaje (McKee *et al.*, 2004) dado que reciben, retienen, mineralizan y transforman C antes de que éste llegue al ambiente costero. Además, son fuente y vía de transporte principal de nutrientes (*e.g.*, N, P, Si), sedimentos, materiales terrestres y atmosféricos hacia los depósitos oceánicos (Li *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2010).

A pesar de su trascendencia, los flujos netos de C a lo largo del continuo acuático terrestre-oceánico no están actualmente incluidos como actores de importancia en los presupuestos globales de CO₂ (Le Quéré *et al.*, 2018), pero estos aportes afectan los balances regionales de C y deben considerarse en estrategias para mitigar el cambio climático porque proporcionan información del almacenamiento, la oxidación y el transporte terrestre de C procedente de la cuenca (Battin *et al.*, 2009). En este sentido, existe una gran necesidad de generar información de la dinámica —almacenes y flujos— del C en ambientes acuáticos lénticos y lóticos a nivel regional para mejorar la precisión de las modelaciones y los balances a nivel global (Aufdenkampe *et al.*, 2011).

Al día de hoy (Butman *et al.*, 2018) existe escasa información sobre almacenes y flujos de C en las aguas epicontinentales en México, quedando en el país una amplia zona totalmente desconocida. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue integrar una base de datos de los contenidos de C que se reportan en la literatura limnológica. Específicamente, para identificar los datos de almacenes de C presentes en agua, sedimentos superficiales y núcleos sedimentarios, los flujos de CO₂ y CH₄ e integrar una base de los datos nacionales de C en cuerpos de agua epicontinentales (en hojas de Excel^{MR}).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, en primera instancia se realizó una búsqueda de artículos científicos que hicieran alusión a los distintos almacenes y flujos de C en diferentes compartimentos en las aguas epicontinentales.

Se efectuó una revisión de literatura para localizar publicaciones en internet con información relacionada de almacenes y flujos de C en ecosistemas acuáticos epicontinentales de México. Para ello se utilizaron motores de búsqueda públicos disponibles como Science Direct, Google Académico, Redalyc, Research Gate y Scopus. Los documentos encontrados se clasificaron en publicaciones convencionales y de literatura gris. Las publicaciones convencionales se refieren a los artículos científicos indexados y revisados por pares (con y sin factor de impacto). La literatura gris, en este caso, son investigaciones reportadas en tesis y resúmenes extensos publicados como resultado de reuniones científicas.

La búsqueda se realizó mediante el uso de una serie de palabras clave con operadores lógicos para seleccionar la literatura relevante. La información se restringió a reportes que presentaran mediciones directas de C, esto es, no se consideraron aproximaciones de C calculadas a partir de otras variables como, por ejemplo, la concentración de clorofila por considerarse aproximaciones poco confiables por la gran variación de los factores de conversión que ha conducido a la ausencia de consenso a nivel internacional. La búsqueda se enfocó a nivel nacional y sin restricción del periodo de publicación.

Integración de la base de datos

Los documentos resultantes fueron depurados y se elaboró un archivo de Microsoft Excel^{MR} para sintetizar y sistematizar la información de cada documento. En el archivo se incluyó información valiosa como ubicación

geográfica de los sitios, entidad federativa donde se realizó el trabajo, origen del cuerpo acuático, estado trófico de éste y tipo de almacén con datos de los flujos.

La catalogación de los cuerpos acuáticos consideró almacenes de C en agua en las categorías: Carbono total particulado (CTP), Carbono orgánico particulado (COP), Carbono orgánico disuelto (COD), carbono orgánico total (COT, o del inglés Total organic carbon, TOC) y Carbono inorgánico disuelto (CID). Para los almacenes de C en sedimentos superficiales se consideraron: Carbono orgánico (CO), Carbono inorgánico (CI), Materia orgánica (MO) y COP. De los almacenes de C a lo largo de núcleos sedimentarios, se consideraron CO, MO y tasas de acumulación de CO. Para los flujos de C, se catalogaron flujos verticales de CTP, COT, COP y Materia total particulada (MTP), emisión de CO₂ y de emisión de CH₄.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la compilación de la información disponible sobre los almacenes y flujos de carbono en sistemas acuáticos epicontinentales de México. En total existe información de 77 cuerpos acuáticos (Anexo A), de los cuales la mayoría (94.8%) son sistemas lénticos (lagos, presas, reservorios, estanques) y un porcentaje menor (5.2%) son sistemas lóticos (corrientes y canales). Por su origen, el 31.2% son volcánicos, el 28.6% son artificiales, el 23.4% son de disolución (kársticos), el 7.8% de origen tectónico, 5.2% son aguas corrientes y 3.9% son de origen desconocido (Figura 1).

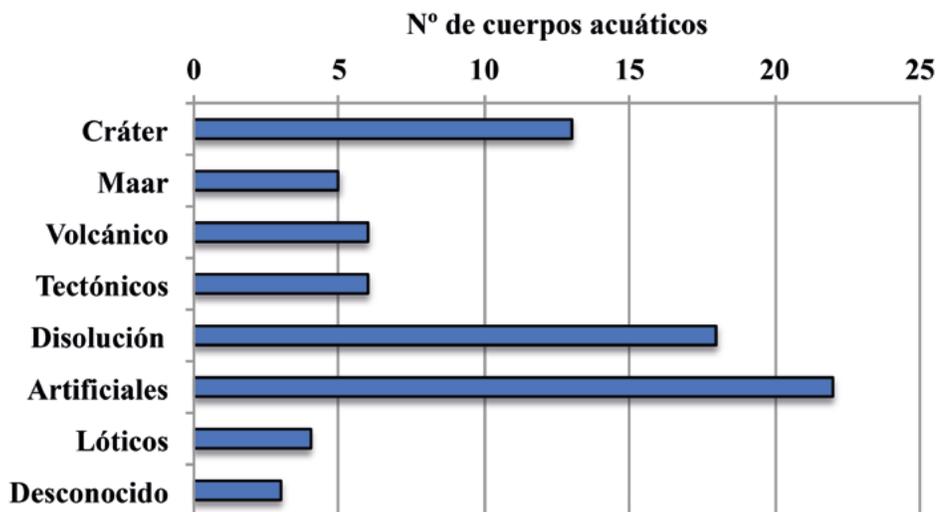


Figura 1. Origen de los cuerpos acuáticos epicontinentales de México con información sobre carbono.

La información sobre carbono en sistemas acuáticos epicontinentales procede de once estados de la República Mexicana (Figura 2), la mayor parte de ellos –salvo Chiapas- están localizados a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal lo cual es producto, en

gran medida, a que existen cuencas con lagos en esta zona, asociadas con el tectonismo y vulcanismo de la faja volcánica, así como de una mayor presencia de instituciones de investigación en el área que los ha estudiado.

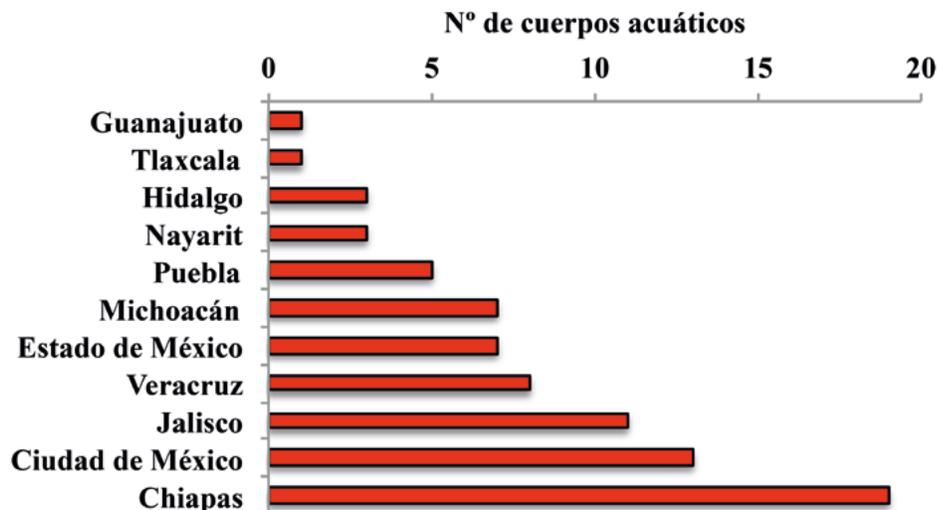


Figura 2. Número de cuerpos acuáticos epicontinentales por estado de la República Mexicana con información de C.

En total se recopilaron 30 publicaciones relacionadas con C en cuerpos acuáticos epicontinentales de México (Anexo B). Algunas publicaciones se refieren a uno o más cuerpos acuáticos de un solo estado, sin embargo, otros consideran cuerpos acuáticos ubicados en dos o más estados de la República Mexicana, alcanzando

hasta ocho estados (*i.e.*, Sigala *et al.*, 2017). La mayor parte de las publicaciones (30%) se refieren a cuerpos acuáticos ubicados en Puebla, seguidos por el Estado de México y Chiapas, ambos con un 15%, Veracruz con 10% y Nayarit y Jalisco con 7.5%; el resto de los estados corresponden a un 2.5-5% de las referencias (Figura 3).

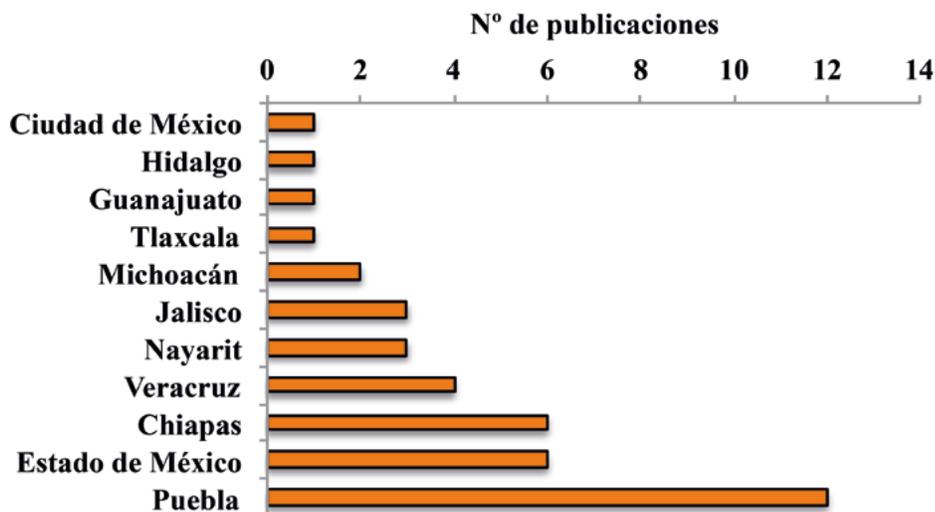


Figura 3. Número de publicaciones relacionadas a almacenes y flujos de C en cuerpos acuáticos epicontinentales de México por estado de la República Mexicana.

Como se mencionó, la revisión incluyó literatura científica convencional y gris. De acuerdo con la distribución que se presenta en el Cuadro 1, la mayor producción científica se divide, casi por partes iguales, en los trabajos de artículos científicos (16, 53.3%) y en resúmenes en extenso de reuniones científicas (14, 46.7%). En esta revisión se incluyeron revistas indizadas o revisadas por pares (15). Solamente en el Journal of Limnology se publicaron dos artículos,

todas las demás revistas publicaron tan solo un artículo en cada una. De los 15 artículos, 12 están publicados en inglés y tres en español. De la literatura gris, doce de los catorce resúmenes en extenso se publicaron en las Síntesis Nacionales (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017) del Programa Mexicano del Carbono (PMC) y los dos restantes en los resúmenes de la AMLAC (Asociación Mexicana de Limnología, A.C.).

Cuadro 1. Trabajos de investigación de contenidos de carbono en cuerpos acuáticos epicontinentales de México, por casa editorial.

| Editorial | Artículo | Resumen de reunión |
|---|----------|--------------------|
| Aquatic Sciences | 1 | |
| Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana | 1 | |
| Climate of the Past | 1 | |
| Diatom Reseach | 1 | |
| Environmental Monitoring and Assessment | 1 | |
| Environmental Science and Pollution Research | 1 | |
| Geofísica Internacional | 1 | |
| Geology | 1 | |
| Geophysical Research Letters | 1 | |
| Hidrobiológica | 1 | |
| Hydrobiologia | 1 | |
| Journal of Environmental Monitoring | 1 | |
| Journal of Limnology | 2 | |
| Journal of Paleolimnology | 1 | |
| Science of the Total Environment | 1 | |
| Serie Síntesis Nacionales, PMC | | 12 |
| Tendencias de investigación en Limnología Tropical: Perspectivas Universitarias en Latinoamérica, AMLAC | | 2 |
| Total | 16 | 14 |

En México se inició la publicación de información sobre C en cuerpos acuáticos epicontinentales en 2004 (Figura 4). Tras una meseta de nula o baja publicación

(2001-2012), se observa un incremento importante de publicaciones que se ha mantenido a la fecha.

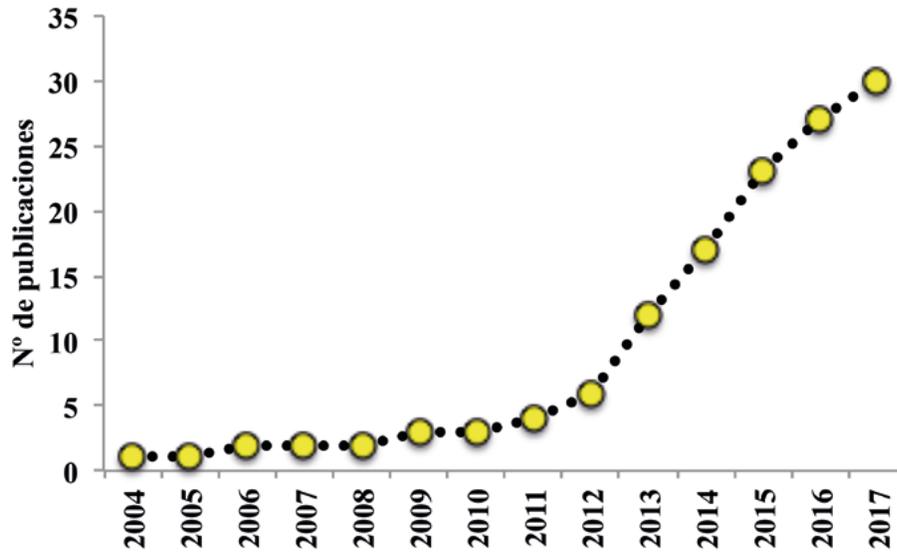


Figura 4. Número acumulado de artículos publicados referentes a C en cuerpos acuáticos epicontinentales mexicanos.

De los 30 trabajos publicados recopilados, 17 incluyen información sobre almacenes de carbono (agua, sedimento superficial y núcleos sedimentarios), 11 sobre flujos de carbono (verticales al sedimento, verticales hacia la atmósfera) y, tan solo dos sobre

almacenes y flujos de carbono. Con relación a los almacenes de carbono, se han evaluado 53 en agua de cuerpos acuáticos, 28 en sedimentos superficiales y siete en núcleos sedimentarios (Figura 5).

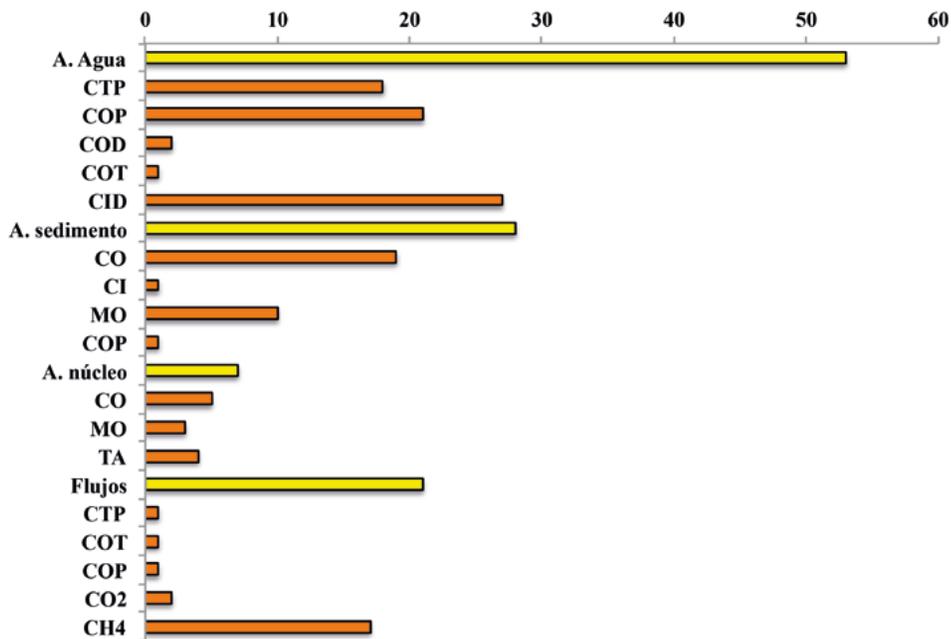


Figura 5. Número de cuerpos acuáticos epicontinentales de México con información sobre carbono. A = almacenes; TA = tasas de acumulación; Flujos = flujos verticales: agua-sedimento y agua-atmósfera.

De los almacenes de C en agua, las variables y el número de cuerpos de agua estudiados incluyen: CTP en 18, COP en 21, COD en dos, TOC en uno y CID en 27. De los almacenes de C en sedimento superficial se ha evaluado CO en 19 cuerpos, CI en uno, MO (estimado a través de pérdidas por ignición, LOI por sus siglas en inglés), en 10 y COP en uno. De los almacenes de C a lo largo de núcleos sedimentarios se han evaluado las concentraciones de CO en cinco cuerpos acuáticos, MO en tres y tasas de acumulación de CO en cuatro. Asimismo, se han medido los flujos de C como flujos verticales de CTP, COT, COP y MTP de tan solo un cuerpo acuático y se dispone de datos de emisión de CO₂ de dos cuerpos acuáticos y de emisión de CH₄ de 17.

Las concentraciones de carbono total particulado (CTP) en cuerpos acuáticos epicontinentales de México fueron medidas por Oseguera y Alcocer (2015) y Vargas-Sánchez *et al.* (2017). Las concentraciones de carbono orgánico particulado (COP) fueron medidos por Alcocer *et al.* (2012a, 2012b, 2014b, 2018), González-Contreras *et al.* (2013), Oseguera y Alcocer (2015), Oseguera *et al.* (2014, 2016a) y Vargas-Sánchez *et al.* (2017). En cuanto a la concentración de carbono orgánico disuelto (COD), éstas fueron medidos por Caballero *et al.* (2013) y Alcocer *et al.* (2014a). Las concentraciones de carbono inorgánico disuelto (CID) fueron medidos por Sigala *et al.* (2017).

Las concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD) en sedimentos superficiales (SS) de cuerpos acuáticos epicontinentales de México fueron medidos por Pérez-Rodríguez *et al.* (2013), Vázquez y Caballero (2013), Rodríguez-Ramírez *et al.* (2015) y Alcocer *et al.* (2016). Las concentraciones de materia orgánica (MO) fueron medidos en sedimentos superficiales por Caballero *et al.* (2006), Vázquez y Caballero (2013) y Oseguera *et al.* (2016b). Respecto a la concentración de carbono orgánico particulado (COP) y las tasas de sedimentación (TS), éstas fueron medidas por Caballero *et al.* (2006) y Alcocer *et al.* (2012b, 2014 b).

Las concentraciones de carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO) y tasas de sedimentación (TS) a lo largo de núcleos sedimentarios de cuerpos acuáticos epicontinentales de México fueron medidos por Ruiz-Fernández *et al.* (2004), Alcocer *et al.* (2014 b), Ontiveros-Cuadras *et al.* (2014), Rodríguez-Ramírez *et al.* (2015). Los flujos verticales de carbono total particulado (CTP), carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) fueron medidos por Caballero *et al.* (2013), Oseguera-Pérez *et al.* (2013), Pascoe-Orrala *et al.* (2013, 2015), Valdespino-

Castillo *et al.* (2014) y Carnero-Bravo *et al.* (2015).

Finalmente, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) de los cuerpos acuáticos epicontinentales a la atmósfera fueron medidas para México por Mazot y Taran (2009), Pérez *et al.* (2011), González-Valencia *et al.* (2014), Valdespino-Castillo *et al.* (2014), Guzmán-Arias *et al.* (2015a, 2015b), Jácome-Paz *et al.* (2016) y Martínez-Cruz *et al.* (2017).

Como corolario, los cuerpos acuáticos en los cuales se cuenta con mediciones de emisiones de CO₂ y CH₄, se clasificaron y agruparon de acuerdo con los cuerpos de agua que se tipifican en el Diccionario de Datos de Cuerpos de Agua (INEGI, 2014). Con base en esta clasificación y tomando en cuenta la estimación de la extensión que cubre cada uno de estos cuerpos de agua en el país (PMC, 2017), se estimaron las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de los cuerpos acuáticos epicontinentales en la República Mexicana. Con base en la anterior clasificación, las presas resultan ser la fuente principal de emisión de CH₄ (270.19 ± 57.03 a $212\ 222.16 \pm 325\ 812.44$ t CH₄ m⁻² d⁻¹), muy por arriba de los demás tipos de ambientes acuáticos. La contaminación y eutrofización, fenómenos comunes que afectan a las presas, explican el amplio intervalo de emisiones de CH₄ registradas en éstas. En segundo lugar, muy por debajo con aproximadamente un 10% del aporte de las presas, están los lagos (20.22 ± 3.30 a $21\ 653.24 \pm 19\ 912.25$ t CH₄ m⁻² d⁻¹). La amplia variación en los aportes individuales está seguramente asociada, al igual que para las presas, al estado trófico de los mismos.

CONCLUSIONES

Los almacenes y flujos de carbono de 77 cuerpos acuáticos epicontinentales de México, en la base de datos generada, permitirá dar seguimiento y reconocer los vacíos de conocimiento; hasta este momento se cuenta con información de cuerpos de agua lénticos del centro de México. A partir de estos resultados se recomienda la búsqueda de bases de datos que cubran las omisiones detectadas y se promueva la generación urgente de conocimiento nuevo, en particular de los sistemas lóticos y, sobre la evaluación de emisiones de GEI. De los análisis realizados destaca la urgencia de uniformizar metodologías de muestreo en campo, así como de análisis de laboratorio, para hacer interoperables los esfuerzos de investigación y caracterización de la dinámica del carbono en los ecosistemas acuáticos epicontinentales de México.



RECONOCIMIENTOS

Esta base de datos es resultado de una amplia variedad de estudios realizados por un sinnúmero de investigadores, a todos ellos se agradece y reconoce su esfuerzo y dedicación. El trabajo de recopilación, análisis y síntesis se llevó a cabo como resultado de diferentes apoyos, por lo que entre otros, se agradece a PAPIIT-UNAM (IN225517, IN216818, IN219215, IN221009, IN210806-3, ES209301, IN204597, IN203894), PINCC-UNAM (2012-14), CONACYT (103332, 49923, 41667, 34893-T, 25430-T, 0956-N9111), SEMARNAT-CONACYT (262970), FOMIX CONACYT-GOBIERNO del DF (189194), FORDECYT (273646).

LITERATURA CITADA

- Alcocer, J., D. P. López-Anaya y L. A. Oseguera. 2012a. Dinámica del carbono orgánico particulado en un lago oligotrófico tropical. pp. 541-547. *In*: Paz, F. y R. M. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México.
- Alcocer, J., E. Escobar, L. A. Oseguera y V. Ardiles. 2012b. El almacén de carbono orgánico particulado en los sedimentos de un lago oligotrófico tropical. pp. 534-540. *In*: Paz, F. y R.M. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México.
- Alcocer, J., A. Guzmán-Arias, L. A. Oseguera y E. Escobar. 2014a. Dinámica del carbono orgánico disuelto y particulado asociados al florecimiento de *Nodularia spumigena* en un lago tropical oligotrófico. pp. 404-411. *In*: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México.
- Alcocer, J., A. C. Ruiz-Fernández, E. Escobar, L. Pérez-Bernal, L. Oseguera and V. Ardiles-Gloria. 2014b. Deposition, burial and sequestration of carbon in an oligotrophic, tropical lake. *Journal of Limnology* 73:223-235. DOI:10.4081/jlimnol.2014.783
- Alcocer J., L. A. Oseguera y E. Escobar. 2016. Contenido de carbono elemental en sedimentos lacustres de un conjunto de lagos tropicales con distinto estado trófico. pp. 357-365. *In*: Paz-Pellat, F.; J. Wong-González y R. Torres-Alamilla (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Texcoco, Estado de México, México.
- Alcocer, J., M. Merino-Ibarra, L. A. Oseguera and O. Escolero. 2018. Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: “Lagunas de Montebello”, Chiapas. *Ecohydrology* DOI:10.1002/eco.2029
- Amiotte-Suchet, P., J. L. Probst and W. Ludwig. 2003. Worldwide distribution of continental rock lithology: Implications for the atmospheric/soil CO₂ uptake by continental weathering and alkalinity river transport to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles* 17:1-14. DOI:10.1029/2002GB001891
- Aufdenkampe, A. K., E. Mayorga, P. A. Raymond, J. M. Melack, S. C. Doney, S. R. Alin, R. E. Aalto and K. Yoo. 2011. Rivers and the coupling of biogeochemical cycles. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9:53-60. DOI:10.1890/100014
- Battin, T.J., S. Luysaert, L. Kaplan, A. Aufdenkampe, A. Richter y L.J. Tranvik. 2009. The boundless carbon cycle. *Nature Geoscience* 2:598-600. DOI:10.1038/ngeo618
- Butman, D. and P. A. Raymond. 2011. Significant efflux of carbon dioxide from streams and rivers in the United States. *Nature Geoscience* DOI:10.1038/ngeo1294
- Butman, D., R. Striegl, S. Stackpoole, P. del Giorgio, Y. Prairie, D. Pilcher, P. Raymond, F. Paz-Pellat, and J. Alcocer, 2018. Chapter 14: Inland waters. In *Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report*. Cavallo, N., G. Shrestha, R. Birdsey, M. A. Mayes, R. G. Najjar, S. C. Reed, P. Romero-Lankao, and Z. Zhu (eds.). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. pp. 568-595. DOI:10.7930/SOCCR2.2018.Ch14
- Caballero, M., A. Rodríguez, G. Vilaclara, B. Ortega, P. Roy and S. Lozano. 2013. Hydrochemistry, ostracods and diatoms in a deep, tropical, crater lake in western Mexico. *Journal of Limnology* 72:512-523. DOI: 10.4081/jlimnol.2013.e42
- Caballero, M., G. Vázquez, S. Lozano, A. Rodríguez, S. Sosa, A. C. Ruiz and B. Ortega. 2006. Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) paleolimnology of a tropical lake in the Sierra de los Tuxtlas, Eastern Mexico. *Journal of Paleolimnology* 35:83-97 DOI:10.1007/s10933-005-7427-5
- Carnero-Bravo, V., M. Merino-Ibarra, A. C. Ruiz-Fernández, J. A. Sánchez-Cabeza and B. Ghaleb. 2015. Sedimentary record of water column trophic conditions and sediment carbon fluxes in a tropical water reservoir (Valle de Bravo, Mexico). *Environmental Science and Pollution Research* 22:4680-4694. DOI:10.1007/s11356-014-3703-0

- Cole, J. J., Y. Prairie, N. Caraco, W. McDowell, L. Tranvik, R. Striegl, C. M. Duarte, P. Kortelainen, J. A. Downing, J. J. Middelburg and J. Melack. 2007. Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems* 10:172-185. DOI:10.1007/s10021-006-9013-8
- González-Contreras, C., J. Alcocer-Durand y L. A. Oseguera Pérez. 2013. Variación a largo plazo de la concentración y distribución vertical del carbono orgánico particulado en el Lago Alchichica, Puebla. pp. 315-321. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.*
- González-Valencia, R., A. Sepúlveda-Jáuregui, K. Martínez-Cruz, J. Hoyos-Santillán, L. Dendooven and F. Thalasso. 2014. Methane emissions from Mexican freshwater bodies: correlations with water pollution. *Hidrobiología* 721:9-22. DOI:10.1007/s10750-013-1632-4
- Guzmán-Arias, A. P., J. Alcocer-Durand, M. Merino-Ibarra, F. García-Oliva, J. Ramírez-Zierold y L. A. Oseguera-Pérez. 2015a. Lagos tropicales profundos: ¿fuentes de CO₂ a la atmósfera o sumideros de COP a los sedimentos? pp. 473-480. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González y R. Torres Alamilla (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono. Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C. y Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Texcoco, Estado de México, México.*
- Guzmán-Arias, A., J. Alcocer, J. Ramírez-Zierold, M. Merino-Ibarra, L.A. Oseguera y F. García-Oliva. 2015b. Evaluación de un lago tropical como fuente o sumidero de CO₂ a la atmósfera (Alchichica, Puebla, México). pp. 171-176. *In: J. Alcocer, M. Merino-Ibarra, E. Escobar-Briones (eds.). Tendencias de investigación en Limnología tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica. Asociación Mexicana de Limnología, A.C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología. México.*
- Hope, D., M. Billett and M. Cresser. 1994. A review of the export of Carbon in river water: Fluxes and processes 84:301-324. DOI:10.1016/0269-7491(94)90142-2
- INEGI. 2014. Diccionario de Cuerpos de Agua escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825080129.pdf
- IPCC. 2013. Resumen para responsables de políticas. *In: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (eds.). Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, NY, USA.*
- Jácome-Paz, M. P., Y. Tarán, S. Inguaggiato and N. Collard. 2016. CO₂ flux and chemistry of El Chichón cráter lake (México) in the period 2013–2015: Evidence for the enhanced volcano activity. *Geophysical Research Letters* 43:127-134. DOI:10.1002/2015GL066354
- Le Quére, C., R. Andrew, P. Friedlingstein, S. Sitch, J. Pongratz, A. Manning, J. Ivar, G. Peters, J. Canadell, R. Jackson, T. Boden, P. Tans, O. Andrews, V. Arora, D. Bakker, L. Barbero, M. Becker, R. Betts, L. Bopp, F. Chevalier, L. Chini, P. Ciais, C. Cosca, J. Cross, K. Currie, T. Gasser, I. Harris, J. Hauck, V. Haverd, R. Houghton, C. Hunt, G. Hurtt, T. Ilyina, A. Jain, E. Kato, M. Kautz, R. Keeling, K. Klein, A. Körtzinger, P. Landschützer, N. Lefèvre, A. Lenton, S. Lienert, I. Lima, D. Lombardozzi, N. Metzl, F. Millero, P. Monteiro, D. Munro, J. Nabel S. Nakaoka, Y. Nojiri, X. Padin, A. Peregón, B. Pfiel, D. Pierrot, B. Poulter, G. Rehder, J. Reiner, C. Rödenbeck, J. Schwinger, R. Séférian, I. Skjelvan, B. Stocker, H. Tian, B. Tilbrook, F. Tubiello, I. T. Vander Laan-Luijkx, G. Werf, S. Van Heuven, N. Viovy, N. Vuichard, A. Walker, A. Watson, A. Wiltshire, S. Zaehle and D. Zhu. 2018. Global Carbon Budget 2017. *Earth System Science Data* 10:405-448. DOI:10.5194/essd-10-405-2018
- Li, M., C. Peng, M. Wang, W. Xue, K. Zhang, K. Wang, G. Shiy and Q. Zhu. 2017. The carbon flux of global rivers: A re-evaluation of amount and spatial patterns. *Ecological Indicators* 80:40-51.
- Liu, K.-K., L. Atkinson, R. Quiñones and L. Talaue-McManus (eds.). 2010. Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins. A Global Synthesis. International Geosphere-Biosphere Programme; The Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm. Deblík, Berlin. 744 p. DOI:10.1007/978-3-540-92735-8
- Martínez-Cruz, K., R. González-Valencia, A. Sepúlveda-Jáuregui, F. Plascencia-Hernández, Y. Belmonte-Izquierdo and F. Thalasso. 2017. Methane emission from aquatic ecosystems of Mexico City. *Aquatic Sciences* 79:159-169.
- Mazot, A. and Y. Taran. 2009. CO₂ flux from the volcanic lake of El Chichón (México). *Geofísica Internacional* 48:73-83.
- McKee, B. A., R. Aller, M. Allison, T. Bianchi and G. Kineke. 2004. Transport and transformation of dissolved and particulate materials on continental margins influenced by major rivers: Benthic boundary layer and seabed processes. *Continental Shelf Research* 24:899-926. DOI:10.1016/j.csr.2004.02.009
- Ontiveros-Cuadras J. F., A. C. Ruiz-Fernández, J. A. Sánchez-Cabeza, L. H. Pérez-Bernal, J. L. Sericano, M. Preda, L. Liang Wee Kwong and F. Páez-Osuna. 2014. Trace element fluxes and natural potential risks from 210Pb-dated sediment cores in la-

- custrine environments at the Central Mexican Plateau. *Science of the Total Environment* 468-469:677-687. DOI:10.1016/j.scitotenv.2013.08.071
- Oseguera-Pérez, L. A., J. Alcocer-Durand y B. Hernández-Hernández. 2013. Variación del flujo de carbono orgánico particulado en un lago oligotrófico con dominancia de fitoplancton de talla grande. pp. 328-334. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013.* Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.
- Oseguera-Pérez, L., J. Alcocer-Durand y H. Brenda. 2014. Variación del flujo de carbono orgánico particulado en un lago oligotrófico con dominancia de fitoplancton de talla grande. pp. 328-334. *In: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013.* Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.
- Oseguera L. A. y J. Alcocer. 2015. Concentración y distribución vertical del carbono particulado (total y orgánico) en los lagos de Montebello, Chiapas. pp. 457-463. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González y R. Torres-Alamilla (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015.* Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono. Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C. y Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Texcoco, Estado de México, México.
- Oseguera L. A., J. Alcocer, R. M. Prol-Ledesma y A. S Membrillo-Abad. 2016a. Distribución del carbono orgánico particulado y la biomasa fitoplanctónica en un lago tropical somero. pp. 385-391. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González y R. Torres-Alamilla (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016.* Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Texcoco, Estado de México, México.
- Oseguera, L. A., J. Alcocer and E. Escobar. 2016b. Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos tropicales de alta montaña en el volcán Nevado de Toluca, en el centro de México. *Hidrobiológica* 26:419-432.
- Pascoe-Orrala, T., J. Alcocer-Durand y L. A. Oseguera-Pérez. 2013. Variación horizontal de los flujos de carbono particulado en un lago tropical. pp. 343-348. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013.* Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.
- Pascoe-Orrala T., J. Alcocer y L. A. Oseguera. 2015. Evaluación de las diferencias de los flujos de carbono particulado en la zona pelágica de un lago tropical profundo. pp. 165-170. *In: Alcocer, J., M. Merino-Ibarra y E. Escobar-Briones (eds.). Tendencias de investigación en Limnología tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica.* Asociación Mexicana de Limnología, A. C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología. México.
- Pérez, N. M., P. A. Hernández, G. Padilla, D. Nolasco, J. Barrancos, G. Melian, E. Padrón, S. Dionis, D. Calvo, F. Rodríguez, K. Notsu, T. Mori, M. Kusakabe, M. C. Arpa, P. Reniva and M. Ibarra. 2011. Global CO₂ emission from volcanic lakes. *Geology* 39:235-238. DOI: 10.1130/G31586.1
- Pérez-Rodríguez, V. J., J. Alcocer-Durand, L. A. Oseguera-Pérez y E.G. Escobar-Briones. 2013. Dinámica del carbono en sedimentos y biomasa expresada como carbono de los MIB de la zona litoral de Alchichica, Puebla. pp. 307-314. *In: Paz-Pellat, F., J. Wong-González, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013.* Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.
- PMC. 2017. Estadísticas y mapas de cuerpos de agua epicontinentales. Serie 2 (1993), Serie 2.5 (1999), Serie 3 (2002), Serie 4 (2007), Serie 5 (2011), Serie 6 (2014) y Serie 6.5 (2016). Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México.
- Raymond, P. A., J. Hartmann, R. Lauerwald, S. Sobek, C. McDonald, M. Hoover, D. Butman, R. Striegl, E. Mayorga, C. Humborg, P. Kortelainen, H. Dür, M. Meybeck, P. Ciais and Y. P. Guth. 2013. Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature* 503:355-359. DOI:10.1038/nature12760
- Rodríguez-Ramírez, A., M. Caballero, P. Roy, B. Ortega, G. Vázquez-Castro and S. Lozano-García. 2015. Climatic variability and human impact during the last 2000 years in western Mesoamerica: evidences of late Classic (AD 600-900) and Little Ice Age drought events. *Climate of the Past* 11:1239-1248. DOI:10.5194/cp-11-1239-2015
- Ruiz-Fernández, A. C., F. Páez-Osuna, J. Urrutia-Fucugauchi, M. Predac and I. Rehaulte. 2004. Historical trace metal fluxes in the Mexico City Metropolitan Zone as evidenced by a sedimentary record from the Espejo de los Lirios lake. *Journal of Environmental Monitoring* 6:473-480.
- Sigala, I., M. Caballero, A. Correa-Metrio, S. Lozano-García, G. Vázquez, L. Pérez and E. Zawisza. 2017. Basic limnology of 30 continental waterbodies of the Trans-Mexican Volcanic Belt across climatic and environmental gradients. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 69:313-330.

- Tranvik, L. J., J. Downing, J. Cotner, S. Loiselle, R. Striegl, T. Ballatore, P. Dillon, K. Finlay, K. Fortino, L. Knoll, P. Kortelainen, T. Kutser, S. Larsen, I. Laurion, D. Leech, S. McCallister, D. McKnight, J. Melack, E. Overholt, J. Porter, Y. Prairie, W. Renwick, F. Roland, B. Sherman, D. Schindler, S. Sobek, A. Tremblay, M. Vanni, A. Verschoor, E. von Wachenfeldt and G. Weyhenmeyer. 2009. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography* 54:2298-2314. DOI:10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298
- Tranvik, L. J., J. J. Cole and Y. T. Prairie. 2018. The study of carbon in inland waters — from isolated ecosystems to players in the global carbon cycle. *Limnology and Oceanography letters* 3:41-48. DOI:10.1002/lol2.10068
- Valdespino-Castillo, P. M., M. Merino-Ibarra, J. Jiménez-Contreras, F. S. Castillo-Sandoval and J. A. Ramírez-Zierold. 2014. Community metabolism in a deep (stratified) tropical reservoir during a period of high water-level fluctuations. *Environmental Monitoring and Assessment* 186:6505-6520.
- Vargas-Sánchez, M., E. M. Rivera-Herrera, J. Alcocer-Durand y L.A. Oseguera-Pérez. 2017. Distribución del carbono orgánico particulado en lagos del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. pp. 166-171. *In: Paz-Pellat, F. y R. Torres Alamilla (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California. Texcoco, Estado de México, México.*
- Vázquez, G. and M. Caballero. 2013. The structure and species composition of the diatom communities in tropical volcanic lakes of eastern Mexico. *Diatom Research* 28:77-91. DOI:10.1080/0269249X.2012.739974

ANEXO A
Cuadro A1. Listado de cuerpos acuáticos epicontinentales de México de donde se ha generado información sobre almacenes y/o flujos de carbono.

| Nº | Lago | Estado | Tipo | Origen | Lat N | Long W | Alt |
|----|----------------------|-----------|------|------------|-------|--------|------|
| 1 | Agua Tinta | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1465 |
| 2 | Alberca de Tacámbaro | Michoacán | Len | cráter | 19.2 | 101.5 | 1475 |
| 3 | Alberca de Teremendo | Michoacán | Len | cráter | 19.8 | 101.5 | 2058 |
| 4 | Alchichica | Puebla | Len | maar | 19.2 | 97.2 | 2320 |
| 5 | Aljojuca | Puebla | Len | maar | 19.1 | 97.3 | 2340 |
| 6 | Anzaldo | CDMEX | Len | artificial | 19.3 | 99.2 | 2300 |
| 7 | Atezca | Hidalgo | Len | volcánico | 20.8 | 98.7 | 1316 |
| 8 | Atlangatepec | Tlaxcala | Len | artificial | 19.6 | 98.2 | 2511 |
| 9 | Atotonilco | Jalisco | Len | tectónico | 20.4 | 103.7 | 1355 |
| 10 | Balantetic | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1446 |
| 11 | Bosque Azul | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1458 |
| 12 | Burro | Michoacán | Len | volcánico | 19.4 | 101.5 | 2708 |
| 13 | Chajchaj | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1426 |
| 14 | Chapala | Jalisco | Len | tectónico | 20.1 | 103 | 1524 |
| 15 | Chlachoapan | Veracruz | Len | cráter | 18.2 | 95.1 | 386 |
| 16 | Cinco Lagos | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1486 |
| 17 | Colorada | Veracruz | Len | cráter | 18.3 | 95.2 | 100 |
| 18 | Coyol | Veracruz | Len | ¿? | 19.2 | 96.1 | |
| 19 | Cuautepec | CDMEX | Len | artificial | 19.5 | 99.1 | 2300 |
| 20 | De Guadalupe | México | Len | ¿? | 19.4 | 99.2 | 2356 |
| 21 | Dos Lagos | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.6 | 1427 |
| 22 | El Chichón | Chiapas | Len | cráter | 17.3 | 93.2 | 1100 |
| 23 | El Llano | México | Len | ¿? | 19.7 | 99.5 | |
| 24 | El Sol | México | Len | cráter | 19.1 | 99.5 | 4200 |

Continuación Cuadro A1...

| Nº | Lago | Estado | Tipo | Origen | Lat N | Long W | Alt |
|----|----------------------|-----------|------|------------|-------|--------|-------|
| 25 | El Tule | Jalisco | Len | artificial | ¿? | ¿? | ¿? |
| 26 | Ensueño | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1430 |
| 27 | Esmeralda | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1461 |
| 28 | Espejo de los Lirios | México | Len | artificial | 19.4 | 99.1 | 2288 |
| 29 | Fernando Celada | CDMX | Len | artificial | 19.3 | 99.1 | 2300 |
| 30 | Gran Canal | CDMX | Lot | lótico | 19.5 | 99.1 | 2300 |
| 31 | Juanacatlán | Jalisco | Len | volcánico | 20.6 | 104.7 | 1981 |
| 32 | Kichail | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1475 |
| 33 | La Encantada | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1454 |
| 34 | La Luna | México | Len | cráter | 19.1 | 99.5 | 4200 |
| 35 | La Magdalena | Michoacán | Len | artificial | 19.2 | 101.5 | 1517 |
| 36 | La Preciosa | Puebla | Len | maar | 19.2 | 97.2 | 2330 |
| 37 | La Vega | Jalisco | Len | artificial | 20.6 | 103.9 | 1274 |
| 38 | Liquidámbar | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1,461 |
| 39 | Los Remedios | CDMX | Lot | lótico | 19.5 | 99.1 | 2300 |
| 40 | Magdalena | CDMX | Lot | lótico | 19.3 | 99.2 | 2300 |
| 41 | Majahual | Veracruz | Len | cráter | 18.4 | 95.2 | 149 |
| 42 | Manantiales | Veracruz | Len | cráter | 18.4 | 95.1 | 149 |
| 43 | Mayor | CDMX | Len | artificial | 19.3 | 99.1 | 2240 |
| 44 | Menor | CDMX | Len | artificial | 19.2 | 99.1 | 2240 |
| 45 | Metztitlán | Hidalgo | Len | tectónico | 20.4 | 98.5 | |
| 46 | Mogo | Veracruz | Len | cráter | 18.3 | 95.2 | 124 |
| 47 | Montebello | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1490 |
| 48 | Ojo de Agua | Jalisco | Len | artificial | 20.4 | 103.9 | 1340 |
| 49 | Olmeca | Veracruz | Len | ¿? | 19.2 | 96.2 | |
| 50 | Patianu | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1484 |
| 51 | Pátzcuaro | Michoacán | Len | volcánico | 19.6 | 101.6 | 2041 |

Continuación Cuadro A1...

| Nº | Lago | Estado | Tipo | Origen | Lat N | Long W | Alt |
|----|-------------------------|------------|------|------------|-------|--------|------|
| 52 | Pojoj | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1499 |
| 53 | Quechulac | Puebla | Len | maar | 19.2 | 97.2 | 2350 |
| 54 | San José | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1454 |
| 55 | San Lorenzo | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1455 |
| 56 | San Pedro Lagunillas | Nayarit | Len | volcánico | 21.2 | 104.7 | 1261 |
| 57 | Santa Elena | Jalisco | Len | artificial | ¿? | ¿? | ¿? |
| 58 | Santa Gertrudis | Jalisco | Len | artificial | 20.1 | 103.4 | 1743 |
| 59 | Santa María del Oro | Nayarit | Len | cráter | 21.2 | 104.3 | 750 |
| 60 | Santa Rosa | Jalisco | Len | artificial | 20 | 103.3 | 1879 |
| 61 | Sayula | Jalisco | Len | tectónico | 20 | 103.6 | 1347 |
| 62 | Tacubaya | CDMX | Len | artificial | 19.4 | 99.2 | 2300 |
| 63 | Tecocomulco | Hidalgo | Len | tectónico | 19.9 | 98.4 | 2535 |
| 64 | Tecuitlapa | Puebla | Len | maar | 19.1 | 97.3 | 2380 |
| 65 | Tepetiltic | Nayarit | Len | cráter | 21.3 | 104.7 | 1430 |
| 66 | Tezozómoc | CDMX | Len | artificial | 19.5 | 99.2 | 2300 |
| 67 | Tlalnepantla | CDMX | Lot | lótico | 19.5 | 99.2 | 2300 |
| 68 | Tzisco | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.7 | 1490 |
| 69 | Umécuaro | Michoacán | Len | ¿? | 19.5 | 101.3 | 2186 |
| 70 | Valle de Bravo | México | Len | artificial | 19.2 | 100.1 | 1830 |
| 71 | Verde | Veracruz | Len | cráter | 18.4 | 95.2 | 149 |
| 72 | Viejo | CDMX | Len | artificial | 19.3 | 99.1 | 2240 |
| 73 | Virgilio Uribe | CDMX | Len | artificial | 19.3 | 99.1 | 2300 |
| 74 | Yalalush | Chiapas | Len | disolución | 16.1 | 91.6 | 1452 |
| 75 | Yuriria | Guanajuato | Len | artificial | 20.1 | 101.1 | 1720 |
| 76 | Zempoala | CDMX | Len | volcánico | 19 | 99.2 | 2828 |
| 77 | Zirahuén | Michoacán | Len | tectónico | 19.5 | 101.7 | 2080 |

¿? = desconocido; Latitud y longitud en grados; Altitud en msnm; Len = léntico; Lot = lótico.

ANEXO B

Cuadro B1. Listado de publicaciones que tratan sobre almacenes y/o flujos de carbono en cuerpos acuáticos epicontinentales de México.

| No. | Referencia bibliográfica |
|-----|---|
| 1 | Alcocer, J., L. A. Oseguera y E. Escobar. 2016. Contenido de carbono elemental en sedimentos lacustres de un conjunto de lagos tropicales con distinto estado trófico. pp. 357-365. <i>In</i> : Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Texcoco, Estado de México, México. |
| 2 | Alcocer, J., A. Guzmán-Arias, L. A. Oseguera y E. Escobar. 2014. Dinámica del carbono orgánico disuelto y particulado asociados al florecimiento de <i>Nodularia spumigena</i> en un lago tropical oligotrófico. <i>In</i> : Paz, F y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. pp. 404-411. |
| 3 | Alcocer, J., D. P. López-Anaya y L. A. Oseguera. 2012. Dinámica del carbono orgánico particulado en un lago oligotrófico tropical. pp. 541-547. <i>In</i> : Paz, F y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. |
| 4 | Alcocer, J., E. Escobar, L. A. Oseguera y V. Ardiles. 2012. El almacén de carbono orgánico particulado en los sedimentos de un lago oligotrófico tropical. <i>In</i> : Paz, F y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. pp. 534-540. |
| 5 | Alcocer, J., A. C. Ruiz-Fernández, E. Escobar, L. H. Pérez-Bernal, L. A. Oseguera and V. Ardiles. 2014. Deposition, burial and sequestration of carbon in an oligotrophic, tropical lake. <i>Journal of Limnology</i> 73:223-235. |
| 6 | Caballero, M., A. Rodríguez, G. Vilaclara, B. Ortega, P. Roy and S. Lozano. 2013. Hydrochemistry, ostracods and diatoms in a deep, tropical, cráter lake in western Mexico. <i>Journal of Limnology</i> 72:512-523. DOI: 10.4081/jlimnol.2013.e42 |
| 7 | Caballero, M., G. Vázquez, S. Lozano, A. Rodríguez, S. Sosa, A. C. Ruiz and B. Ortega B. 2006. Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) paleolimnology of a tropical lake in the Sierra de los Tuxtlas, Eastern Mexico. <i>Journal of Paleolimnology</i> 35:83-97. |
| 8 | Carnero-Bravo, V., M. Merino-Ibarra, A. C. Ruiz-Fernández, J. A. Sánchez-Cabeza and B. Ghaleb. 2015. Sedimentary record of water column trophic conditions and sediment carbon fluxes in a tropical water reservoir (Valle de Bravo, Mexico). <i>Environ Sci Pollut Res.</i> 22:4680-4694. |

| No. | Referencia bibliográfica |
|-----|--|
| 9 | González-Contreras, C., J. Alcocer-Durand y L. A. Oseguera Pérez. 2013. Variación a largo plazo de la concentración y distribución vertical del carbono orgánico particulado en el Lago Alchichica, Puebla. pp. 315-321. <i>In</i> : Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. |
| 10 | González-Valencia, R., A. Sepúlveda-Jáuregui, K. Martínez-Cruz, J. Hoyos-Santillán, L. Dendooven and F. Thalasso. 2014. Methane emissions from Mexican freshwater bodies: correlations with water pollution. <i>Hydrobiologia</i> 721:9-22. |
| 11 | Guzmán-Arias, A., J. Alcocer-Durand, M. Merino-Ibarra, F. García-Oliva, J. Ramírez-Zierold y L. A. Oseguera-Pérez. 2015. Lagos tropicales profundos: ¿fuentes de CO ₂ a la atmósfera o sumideros de COP a los sedimentos? pp. 473-480. <i>In</i> : Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono. Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C. y Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Texcoco, Estado de México, México. |
| 12 | Guzmán-Arias, A., J. Alcocer, J. Ramírez-Zierold, M. Merino-Ibarra, L. A. Oseguera y F. García-Oliva. 2015. Evaluación de un lago tropical como fuente o sumidero de CO ₂ a la atmósfera (Alchichica, Puebla, México). pp. 171-176. <i>In</i> : Alcocer, J., M. Merino-Ibarra y E. Escobar-Briones (eds.). Tendencias de investigación en Limnología tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica. Asociación Mexicana de Limnología, A.C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología. México. |
| 13 | Jácome-Paz, M. P., Y. Tarán, S. Inguaggiato and N. Collard. 2016. CO ₂ flux and chemistry of El Chichón cráter lake (México) in the period 2013-2015: Evidence for the enhanced volcano activity. <i>Geophysical Research Letters</i> 43:127-134. DOI:10.1002/2015GL066354 |
| 14 | Martínez-Cruz, K., R. González-Valencia, A. Sepúlveda-Jáuregui, F. Plascencia-Hernández, Y. Belmonte-Izquierdo and F. Thalasso. 2017. Methane emission from aquatic ecosystems of Mexico City. <i>Aquatic Sciences</i> 79:159-169. |
| 15 | Mazot, A. and Y. Taran. 2009. CO ₂ flux from the volcanic lake of El Chichón (Mexico). <i>Geofísica Internacional</i> 48:73-83. |
| 16 | Ontiveros-Cuadras, J. F., A. C. Ruiz-Fernández, J. A. Sánchez-Cabeza, L. H. Pérez-Bernal, J. L. Sericano, M. Preda, L. Liong Wee Kwong y F. Páez-Osuna. 2014. Trace element fluxes and natural potential risks from 210Pb-dated sediment cores in lacustrine environments at the Central Mexican Plateau. <i>Science of the Total Environment</i> 468-469:677-687. |
| 17 | Oseguera, L. A. y J. Alcocer. 2015. Concentración y distribución vertical del carbono particulado (total y orgánico) en los lagos de Montebello, Chiapas. pp. 457-463. <i>In</i> : Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono. Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C. y Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Texcoco, Estado de México, México. |

| No. | Referencia bibliográfica |
|-----|---|
| 18 | Oseguera, L. A., J. Alcocer, R. M. Prol-Ledesma y A. S Membrillo-Abad. 2016. Distribución del carbono orgánico particulado y la biomasa fitoplanctónica en un lago tropical somero. pp. 385-391. <i>In: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Texcoco, Estado de México, México.</i> |
| 19 | Oseguera, L. A., J. Alcocer-Durand y B. Hernández-Hernández. 2013. Variación del flujo de carbono orgánico particulado en un lago oligotrófico con dominancia de fitoplancton de talla grande. pp. 328-334. <i>In: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.</i> |
| 20 | Oseguera, L. A., J. Alcocer y E. Escobar. 2016. Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos tropicales de alta montaña en el volcán Nevado de Toluca, en el centro de México. <i>Hidrobiológica</i> 26:419-432. |
| 21 | Pascoe-Orrala, T., J. Alcocer-Durand y L. A. Oseguera-Pérez. 2013. Variación horizontal de los flujos de carbono particulado en un lago tropical. <i>In: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. pp. 343-348.</i> |
| 22 | Pascoe-Orrala, T., J. Alcocer y L. A. Oseguera. 2015. Evaluación de las diferencias de los flujos de carbono particulado en la zona pelágica de un lago tropical profundo. pp. 165-170. <i>In: J. Alcocer, M. Merino-Ibarra y E. Escobar-Briones (eds.). Tendencias de investigación en Limnología tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica. Asociación Mexicana de Limnología, A.C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología. México.</i> |
| 23 | Pérez, N. M., P. A. Hernández, G. Padilla, D. Nolasco, J. Barrancos, G. Melian, E. Padrón, S. Dionis, D. Calvo, F. Rodríguez, K. Notsu, T. Mori, M. Kusakabe, M. C. Arpa, P. Reniva and M. Ibarra, 2011. Global CO ₂ emission from volcanic lakes. <i>Geology</i> 39:235-238. |
| 24 | Pérez-Rodríguez, V. J., J. Alcocer-Durand, L. A. Oseguera-Pérez y E. G. Escobar-Briones. 2013. Dinámica del carbono en sedimentos y biomasa expresada como carbono de los MIB de la zona litoral de Alchichica, Puebla. pp. 307-314. <i>In: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.</i> |
| 25 | Rodríguez-Ramírez, A., M. Caballero, P. Roy, B. Ortega, G. Vázquez-Castro and S. Lozano-García. 2015. Climatic variability and human impact during the last 2000 years in western Mesoamerica: evidences of late Classic (AD 600-900) and Little Ice Age drought events. <i>Climate of the Past</i> 11:1239-1248. DOI: 10.5194/cp-11-1239-2015 |
| 26 | Ruiz-Fernández, A. C., F. Páez-Osuna, J. Urrutia-Fucugauchi, M. Predac and I. Rehaultc. 2004. Historical trace metal fluxes in the Mexico City Metropolitan Zone as evidenced by a sedimentary record from the Espejo de los Lirios lake. <i>Journal of Environmental Monitoring</i> 6:473-480. |

| No. | Referencia bibliográfica |
|-----|---|
| 27 | Sigala, I., M. Caballero, A. Correa-Metrio, S. Lozano-García, G. Vázquez, L. Pérez and E. Zawisza. 2017. Basic limnology of 30 continental waterbodies of the Trans-Mexican Volcanic Belt across climatic and environmental gradients. <i>Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana</i> 69:313-330. |
| 28 | Valdespino-Castillo, P. M., M. Merino-Ibarra, J. Jiménez-Contreras, F. S. Castillo-Sandoval and J. A. Ramírez-Zierold. 2014. Community metabolism in a deep (stratified) tropical reservoir during a period of high water-level fluctuations- <i>Environmental Monitoring and Assessment</i> 186:6505-6520. |
| 29 | Vargas-Sánchez, M., Rivera-Herrera E. M., Alcocer-Durand J. y Oseguera-Pérez L. A. 2017. Distribución del carbono orgánico particulado en lagos del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. pp. 166-171. <i>In: Paz, F y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California. Texcoco, Estado de México, México.</i> |
| 30 | Vázquez, G. and M. Caballero. 2013. The structure and species composition of the diatom communities in tropical volcanic lakes of eastern Mexico. <i>Diatom Research</i> 28:77-91. DOI:10.1080/0269249X.2012.739974 |