

**Biomasa y carbono almacenado en un humedal
continental en Cuitzeo, Michoacán, México**

**Biomass and carbon storage in a continental wetland in
Cuitzeo, Michoacán, Mexico**

Sally S. Paredes-García¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2223-7490>

Patricia Moreno-Casasola², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0468-0851>

Erick de la Barrera³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0073-3410>

Felipe García-Oliva⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4138-1850>

Roberto Lindig-Cisneros⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-7038>

¹Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. sparedes@cieco.unam.mx

²Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México, patriciamorenoc@gmail.com

³Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Morelia, Michoacán, México, delabarrera@unam.mx

⁴Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Morelia, Michoacán, México, fgarcia@cieco.unam.mx

⁵Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Morelia, Michoacán, México, rlindig@cieco.unam.mx

Autor para correspondencia: Roberto Lindig-Cisneros, rlindig@cieco.unam.mx

Resumen

Los humedales brindan numerosos servicios ecosistémicos, como la captura de carbono en la biomasa viva y en el suelo. En México, la mayoría de los estudios se ha centrado en humedales costeros, principalmente manglares, por lo que la información sobre humedales continentales aún es escasa. Se abordaron dos preguntas de investigación: ¿cómo es la estructura espacial y la distribución de las especies vegetales dominantes y sus cambios en el tiempo?, ¿cuánto carbono almacena la biomasa aérea y el suelo del humedal continental? Esta información es básica para iniciar estudios más detallados en estos sistemas poco estudiados. Además, el sitio de estudio es un humedal flotante, uno de los tipos de humedales menos estudiados en México; se encuentra en el oriente del lago de Cuitzeo. La vegetación se estudió a través de imágenes aéreas y se corroboró en un transecto. En estas imágenes se marcaron seis puntos de muestreo, en los que se cosechó la biomasa aérea vegetal en parcelas de metro cuadrado y se tomó un perfil de suelo. Se analizó el contenido

de carbono de las especies dominantes, y se determinaron la densidad aparente y el carbono almacenado en el suelo. Se cuantificaron los cambios en el área total del humedal en 14 años y se midió el área afectada por incendios. La biomasa aérea de las especies dominantes varió entre 5 770 y 2 495 kg/m². El sustrato del humedal contiene 92 617 toneladas de carbono. Se detectó que la especie invasora *Phragmites australis* ha aumentado su cobertura a 10 % del área total del humedal de 2010 a 2017. Se identificaron dos grandes incendios; el mayor, en 2016, cubrió 242 ha del total de 535 hectáreas.

Palabras clave: captura de carbono, servicios ecosistémicos, vegetación emergente, tule, espadaña, fuego, conservación, tembladera.

Abstract

Wetlands provide multiple ecosystem services, such as carbon sequestration both in living biomass and in the soil. In México, most studies have been done in coastal wetlands, mainly mangroves, and for this reason information on continental wetlands is scarce. Two research questions were answered: how much carbon is stored in the biomass and in the soil of a continental wetland?; and, which is the spatial structure and distribution of the dominant plant species? The study site is a floating wetland in the eastern part of lake Cuitzeo where field work was carried out during 2017 and 2018. Following a transect six points were selected and aerial biomass was harvested in one square meter plots, and a soil profile was excavated. Carbon content was analyzed from samples of the dominant species and apparent density and carbon stored in the soil determined. Satellite imagery was analyzed to obtain the total area of the wetland in the period 2003-2017 and the area damaged by fires was

calculated. Aerial biomass of the dominant species ranged from 5 770 kg/m² to 2 495 kg/m². The substrate contains 92 617 tons of carbon. It was detected that the invasive species *Phragmites australis* has increased its cover in 10 % of the total wetland area from 2010 to 2017. Two major fires were detected, the largest in 2016 that covered 242 ha of a total of 535 ha.

Keywords: Carbon sequestration, ecosystem services, hydrophytes, cattail, sedges, fire, conservation, floating wetland.

Recibido: 21/04/2020

Aceptado: 11/07/2020

Introducción

Los humedales son ecosistemas intermedios entre el medio terrestre y el medio acuático, que se distinguen por suelos saturados de agua dulce o salobre; suelos dominados por procesos anaerobios, y biota conformada por plantas vasculares con adaptaciones a este tipo de entornos, entre las que destacan las macrófitas (Reddy & De-Laune, 2008; Landgrave & Moreno-Casasola, 2012; van der Valk, 2012; Smardon, 2014). Estas características están determinadas principalmente por la cantidad, fuente y duración del agua (hidrología), y por el relieve (geomorfología) del

humedal (van der Valk, 2012). La inundación disminuye la velocidad de difusión del oxígeno, y modifica los procesos químicos y biológicos desde un estado aerobio y oxidante a un estado anaerobio y reducido (Fiedler, Vepraskas, & Richardson, 2007). Esto favorece la acumulación de carbono pues se altera la comunidad de microorganismos, reduciéndose la cantidad de microbios aerobios, y la propagación de organismos facultativos y anaerobios obligados (Reddy & De-Laune, 2008

Las altas tasas de acumulación de biomasa y las bajas tasas de descomposición de la misma convierten a los humedales en excelentes almacenes de carbono. De acuerdo con Mitsch y Gosselink (2015), se estima que, en el mundo, los humedales almacenan hasta 530 Pg de carbono, que es el equivalente aproximado del 75 % del carbono atmosférico. De los diferentes tipos de humedales, las turberas son las que mayor proporción de carbono acumulan, con aproximadamente 89 Pg debido a la materia orgánica almacenada como turba en el suelo (Paige & Baird, 2016). Ante la actual crisis ambiental, es importante conocer el almacén de carbono en diferentes tipos de humedales, dada su contribución como almacenes de carbono.

Aunque los humedales cubren una superficie relativamente pequeña de las masas continentales, la productividad primaria de estos sistemas es casi tan alta como la de los bosques tropicales (Mitsch *et al.*, 2013; Reddy & De-Laune, 2008). Sin embargo, los humedales son susceptibles a diferentes tipos de perturbaciones provocadas por la creciente urbanización, el cambio de uso de suelo para el desarrollo de actividades agropecuarias, y la propagación de especies invasoras con fines comerciales (Brinson & Malvárez, 2002; van Asselen, Verburg, Vermaat, & Janse, 2013). Esto ha provocado la pérdida de más del 60 %

de humedales en el orbe (Davidson, 2014); en el caso específico de México, Landgrave y Moreno-Casasola (2012) reportaron la pérdida del 62 % de humedales nacionales.

Específicamente, en el lago Cuitzeo, en donde se encuentra el sitio de estudio, se presentan además del pastoreo otro tipo de disturbios más severos, como incendios naturales o inducidos. En humedales, el fuego es una herramienta para eliminar vegetación no deseable (Nyman & Chabreck, 1995), pero propicia condiciones de hipoxia (Rolletschek, Rolletschek, Hartzendorf, & Kohl, 2000), y modifica la estructura y diversidad de las comunidades (Martin & Kirkman, 2009; Watts, Kobsiar, & Snyder, 2012; Kotze, 2013), así como la dinámica de nutrientes del ecosistema (Schmalzer & Hinkle, 1992; Laubhan, 1995; Kotze, 2013).

México es un país donde dominan los humedales costeros por razones biogeográficas (Olmsted, 1993). En los últimos años se han realizado diversas evaluaciones de la estructura de la vegetación de humedales arbóreos y herbáceos de la zona costera de México, y de su valor como depósitos de carbono. Estos últimos trabajos se han concentrado de manera fundamental en manglares. El presente trabajo es el primero que se realiza para cuantificar la producción de biomasa vegetal en un humedal continental flotante en México y para evaluar el depósito de carbono. Para esto se realizó un listado de las especies vegetales y se estimó el porcentaje de área ocupada por ellas. También se estimó la cantidad de carbono aportada por la comunidad vegetal en su biomasa aérea, el carbono en esta biomasa, y se identificaron los eventos de incendio que afectaron al humedal y las fluctuaciones en su área total desde 2003 hasta 2017.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en un humedal al oriente del lago de Cuitzeo, que es el humedal mejor conservado en el lago y el de mayor extensión (Figura 1). El lago se encuentra ubicado hacia el norte a 34 km de la ciudad de Morelia a 19° 53' 15" norte y 100° 50' 20" este, a una altura de 1 820 msnm, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Es el segundo lago de mayor extensión de México, con aproximadamente 420 km² y una profundidad promedio de 0.67 m. El lago recibe escurrimientos superficiales de los ríos Grande de Morelia, Queréndaro y Zinapécuaro, y también es alimentado por precipitación y manantiales que se encuentran dentro y alrededor del mismo. Hasta hace algunas décadas, el lago era un solo cuerpo de agua, pero actualmente se encuentra fragmentado en tres porciones, como consecuencia de la construcción de la carretera federal 43 y la autopista Morelia-Salamanca, al igual que por la construcción de un bordo de 2 500 ha para evitar inundaciones y darle uso agropecuario, lo cual ha provocado la reducción de la porción centro-oriental del lago y el incremento de las concentraciones de nutrimentos aportados, sobre todo por las descargas de aguas negras provenientes del río Grande de Morelia (Cram, Galicia, & Alcántara, 2010). Las especies de hidrófitas emergentes predominantes pertenecen a los géneros *Typha*, *Scirpus*, *Cyperus* y *Eleocharis* (Rojas & Novelo, 1995).

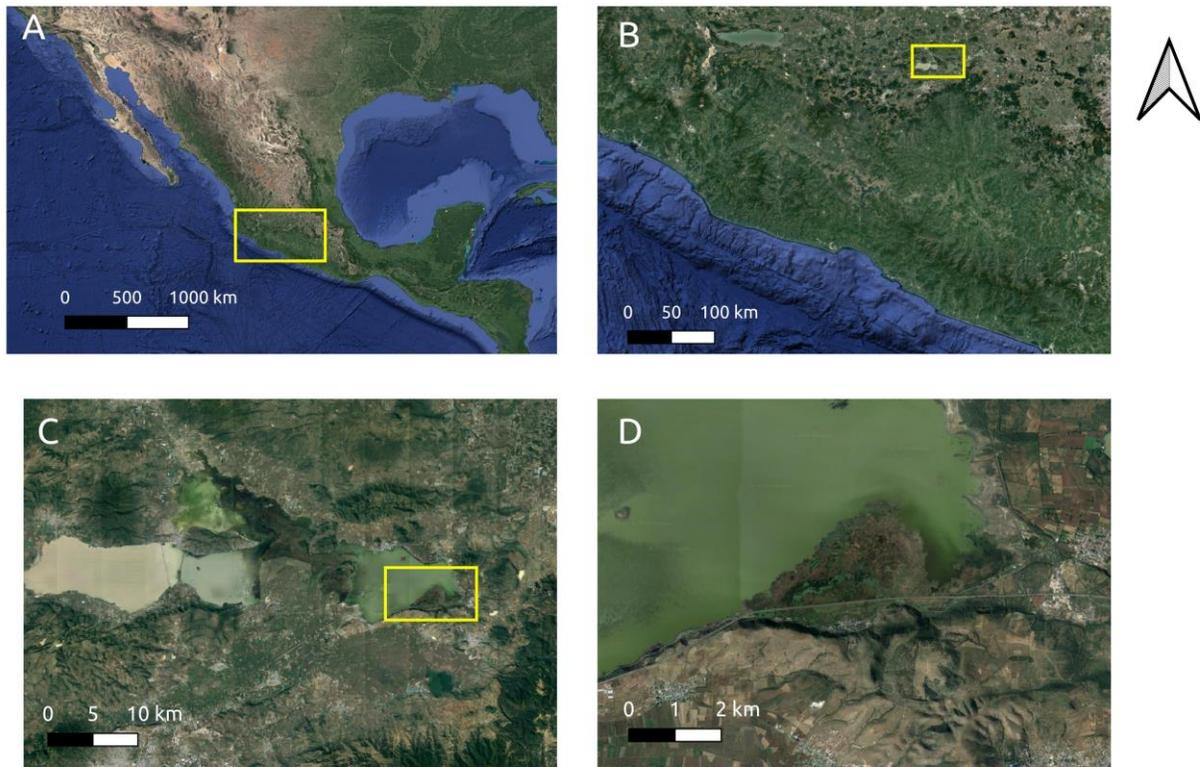


Figura 1. A) Estado de Michoacán, México; B) Ubicación del lago de Cuitzeo en el atiplano occidental; C) el lago se encuentra dividido en tres porciones, por la carretera Federal 43 y la autopista Morelia, Salamanca, y un bordo de 2 500 ha para uso agropecuario; D) el humedal flotante mejor conservado en Cuitzeo.

Para el muestreo en campo, la selección de puntos se realizó con un transecto de dirección este-oeste, que coincide con la dirección de la carretera Atlacomulco-Morelia en el extremo sur del humedal del lago de Cuitzeo (Figura 1). La vegetación se caracterizó a lo largo del transecto y

aproximadamente cada trescientos metros se estableció el punto de partida y se identificó un sitio de muestreo adentrándose al humedal entre 50 y 100 m desde la carretera, para un total de seis puntos. En cada punto se cosecharon muestras de biomasa vegetal aérea en un metro cuadrado en el mes de junio de 2017. También se realizó un perfil del sustrato hasta llegar al agua libre debajo de la masa flotante que forma al humedal durante el mes de enero de 2018, y se hizo una colecta de la vegetación presente durante el mes de mayo de 2018. De cada muestra de biomasa aérea se obtuvo su peso seco y porcentaje de carbono total, como se describe a continuación. De las muestras del sustrato se obtuvo la densidad aparente, la cantidad de materia orgánica y el carbono almacenado.

El almacén de carbono en el sustrato se definió como la cantidad de carbono orgánico almacenado en una unidad de área y profundidad conocida multiplicada por la densidad aparente. Del perfil del sustrato flotante, cercano a los 60 cm, se obtuvieron núcleos de 1 000 cm³. Cada núcleo se dejó secar a temperatura ambiente para eliminar el exceso de agua y posteriormente se secó en estufa a una temperatura de 80 °C hasta alcanzar un peso constante. Después los valores de densidad aparente se calcularon de la siguiente manera:

$$DAp(gcm^3) = \frac{pesosueloseco(g) \times 100}{volumendelcilindro(cm^3)}$$

El porcentaje de materia orgánica (MO) se determinó por el método de pérdida por ignición en una mufla (*Thermolyne*, Thermoscientific Co.,

EUA). Se tomaron seis muestras de 20 g de suelo y se quemaron durante 4 horas a 550 °C (Hoogsteen, Lantinga, Bakker, Groot, & Tittonell, 2015).

El carbono del sustrato fue determinado por combustión y detección colométrica utilizando un analizador de carbono total (UIC-COULOMETRICS mod. 50120, Chicago, EUA) (Huffman, 1997). El almacén de carbono se estimó multiplicando la CC por la DA y el volumen del sustrato del humedal.

El carbono total (CT) de cada especie vegetal se determinó en tres muestras de cada especie con la misma técnica colorimétrica. El carbono en la biomasa aérea seca para cada especie dominante se estimó a partir de la biomasa seca por metro cuadrado multiplicado; en el caso de *P. australis*, por el área que ocupa en el humedal. Para *Typha* spp. y *S. americanus* —dado que estas dos especies se mezclan en diferentes proporciones en el humedal— se estimó la biomasa por género, considerando que toda el área no cubierta por *P. australis* estaba cubierta en su totalidad por individuos de uno u otro género, lo que permite contar con dos estimaciones.

El registro y procesamiento de imágenes satelitales para cuantificar los cambios en el área del humedal y el área afectada por incendios se llevó a cabo mediante fotointerpretación, en el programa *Google Earth Pro*, en el que existen registros del sitio de estudio desde 2003 hasta 2017, que corresponden a diferentes épocas del año y, por lo tanto, es posible que este estudio subestime la incidencia y extensión de los incendios. Se midieron polígonos del área total del humedal en las imágenes, así como los polígonos de las áreas incendiadas que se pudieron identificar. Las especies dominantes de plantas en las áreas no

incendiadas se identificaron en las fotografías, y se validaron con visitas de campo a través de puntos de verificación georreferenciados.

Resultados

Los resultados indican que el humedal del lago Cuitzeo es una superficie flotante conformada por un sustrato de material orgánico que se ubica por encima de una columna de agua de aproximadamente un metro de profundidad. Este sustrato está compuesto, sobre todo, por material orgánico en diferentes grados de descomposición y sin contacto con rocas parentales, por lo que carece de fracción mineral. El perfil del sustrato extraído presentaba diferentes características desde la parte más superficial (0 cm) hasta la más profunda (55 cm; Figura 2). En los primeros 7 cm se encuentra la mayor cantidad de raíces, delgadas y poco profundas, así como restos frescos de plantas. Desde los 7 a 13 cm disminuyen las raíces delgadas, pero contiene una proporción alta de rizomas y, visualmente, la materia orgánica de esta fracción presenta un grado de descomposición mayor. Desde los 23 cm hasta los últimos 55 cm del perfil del sustrato se localizan raíces profundas y material orgánico con un alto grado de descomposición, lo que impide reconocer la procedencia del material. En la zona que se encuentra en contacto con la columna de agua no hay raíces y presenta una textura arcillosa. Sobre este perfil del humedal se mantienen todas las especies vegetales vivas,

que promueven la formación del sustrato descrito al depositarse continuamente.

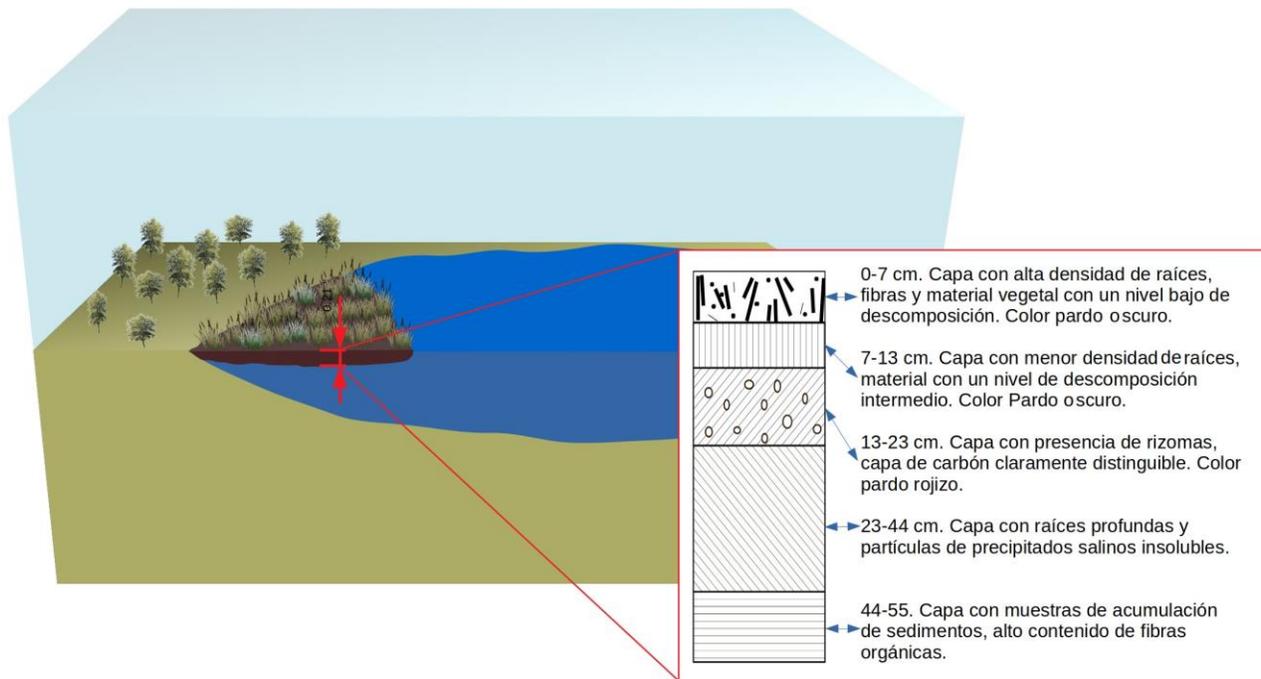


Figura 2. Descripción morfológica del perfil del sustrato del humedal flotante en donde se puede apreciar que está conformado en su mayoría por materia orgánica con diferentes grados de descomposición.

El sustrato del humedal del lago Cuitzeo posee, en promedio, un 96 % de materia orgánica de acuerdo con el análisis de ignición. El valor promedio de densidad aparente fue de $0.13 \pm 0.04 \text{ g/cm}^3$. En promedio, el contenido de carbono orgánico fue de $26 \pm 0.75 \text{ kg C/m}^2$ a 50 cm de profundidad. Para todo el humedal, con un área de 552 ha, se calcularon 92 617 toneladas de carbono en el sustrato de todo el humedal (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de biomasa aérea y carbono en las especies dominantes del humedal, así como el carbono contenido en el sustrato.

	Carbono promedio (%)	Biomasa seca aérea (kg/ha)	Carbono en biomasa aérea (Kg/ha)	Biomasa seca aérea en el humedal (Ton)	Carbono en el humedal (Ton)
<i>P. australis</i>	42	5 770	2 423	280	118*
<i>Typha</i> spp.	39	3 840	1 498	1 933	754*
<i>S. americanus</i>	40	2 495	998	1 256	502*
Suelo	26				92 617
Total máximo (<i>Typha</i> spp.)					93 489
Total mínimo (<i>S. americanus</i>)					93 237

*de la biomasa aérea.

Cuatro especies fueron dominantes en el humedal: *Typha domingensis*, *Typha latifolia*, *Schoenoplectus americanus* y *Phragmites australis*. La biomasa de las dos primeras especies se analizó

conjuntamente debido a que las hojas no se pueden distinguir entre las especies. La especie que tuvo más biomasa seca por hectárea fue *P. australis*, con 5 770 kg, seguida de *Typha* spp. con 3 840 kg y *S. americanus* con 2 495 kg. La concentración de carbono fue muy similar entre especies (42, 39 y 40 %, respectivamente).

El sustrato contiene 26 % de carbono, considerando la densidad del mismo; esto corresponde a 33.6 kg/m³, lo que permite estimar 92 617 toneladas en el sustrato del humedal. En cuanto al carbono total contenido en el humedal, considerando la biomasa aérea (como biomasa seca), se pueden hacer dos estimaciones: los valores de carbono en el sustrato y en *P. australis* son los mismos para ambas estimaciones; con el valor de *Typha* spp. se puede hacer una estimación máxima de 93 489 toneladas (dado que los individuos de este género acumulan más biomasa por unidad de área que los de *S. americanus*) y una estimación mínima de 93 237 toneladas.

Se midió el área total del humedal de 2003 a 2017 y se encontraron fluctuaciones en su área durante ese periodo. De acuerdo con el registro histórico, durante 2006, el área del humedal era casi un 10 % menor a la registrada en noviembre de 2017. Sin embargo, el análisis a través del tiempo muestra una ligera tendencia del humedal a incrementar su superficie de 533 ha a 552 ha (Figura 3). Asimismo, se identificaron ocho incendios en los nueve años que se tienen de registro. En 2010 hubo un incendio que dañó el 35 % del área, pero el mayor incendio registrado sucedió en 2016, al cubrir 45 % del área del humedal. La fotointerpretación de las imágenes satelitales también permitió identificar que el área del humedal está cubierta en casi un 10 % por *Phragmites*

australis y, entre 2010 y 2017, la superficie cubierta por esta especie se incrementó de 3 a más de 70 hectáreas.

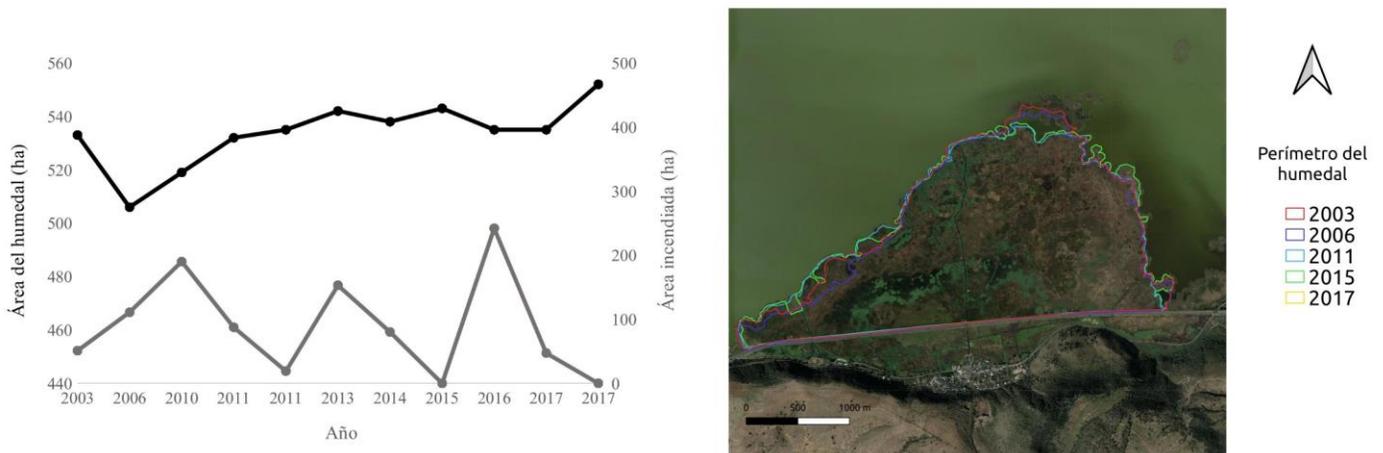


Figura 3. Área total y área dañada por incendios del humedal este del lago Cuitzeo de 2003 a 2017.

Desde el punto de vista de la descripción florística del humedal, se identificaron cuatro especies dominantes de hidrófitas emergentes, incluyendo *Typha dominguensis* Pers., *Typha latifolia* L., *Schoenoplectus americanus* Pers., y *Phragmites australis* (Cav.) Trin & Steud., ya sea formando asociaciones o solas. Además, se identificaron tres especies subordinadas de menor dominancia que forman asociaciones con las anteriores. Estas últimas especies son una hidrófita emergente, *Hydrocotyle verticillata* Thunb. var. *Triradiata* (Rich.), y dos subacuáticas tolerantes: *Eleocharis montevidensis* Kunth. y *Juncus arcticus* Willd.

Discusión

La exploración del humedal del lago Cuitzeo permitió identificarlo como un humedal que se encuentra sobre un sustrato de materia orgánica en distintos grados de descomposición, vegetación viva que se desarrolla sobre este sustrato que en su conjunto flota sobre una columna de agua libre. La estructura general de este humedal se constituye por una capa superficial de raíces entrelazadas, seguido de una capa de turba cuya profundidad está determinada por la profundidad de las raíces vecinas con la columna de agua libre, en donde de acuerdo con diversos estudios se da la mayor parte de los procesos relacionados con los microorganismos, como la captación de nutrientes y metales, el aumento en las tasas de desnitrificación y la absorción del fósforo por las plantas (Jacobs & Harrison, 2014; Masters, 2012; Yeh, Yeh, & Chang, 2015). Esto es importante, porque el lago Cuitzeo es alimentado de manera permanente por el río Grande de Morelia, que transporta y vierte aguas negras de la ciudad, y recibe el aporte continuo de fosfatos y nitratos como producto de desechos agrícolas, urbanos e industriales (Conagua & CEAC, 2009).

La ligera expansión del humedal hacia el lago, que indica el análisis de imágenes, puede ser consecuencia de los afluentes ricos en nutrimentos del río Grande de Morelia y de entradas por precipitación de agua, ya que la contracción y expansión de los humedales es producto de

la fluctuación en el hidropereodo (Mitsch & Gosselink, 2015). La construcción de las dos autopistas que cruzan el lago, los afluentes de ríos y el vertedero de desechos de diferente naturaleza han provocado diferentes condiciones en las tres porciones en las que está dividido el lago Cuitzeo. La porción centro-oriente, donde se encuentra el humedal, recibe un afluente controlado por las represas de la planta de saneamiento Atapaneo, lo cual ha provocado un nivel sin fluctuaciones importantes. Sin embargo, en noviembre y diciembre de 2017, y enero de 2018, al realizar las visitas periódicas al lago fue imposible entrar por el nivel alto de agua, debido a las altas, constantes e inusuales precipitaciones durante esos meses.

En el humedal se encontraron siete especies de plantas emergentes, en contraste con las 12 especies descritas por Rojas y Novelo (1995), que denominaron esa zona como la de mayor diversidad. Esto puede deberse a la creciente problemática derivada de la contaminación del agua que alimenta al lago, y al aumento de asentamientos humanos en la ribera del lago. Otro aspecto relevante encontrado en este estudio es la expansión de *P. australis*, que en el año 2010 cubría 3 ha y en 2017 ya cubría 50 ha. La proliferación de esta especie ha sido bien documentada tanto en humedales costeros como continentales como respuesta a diversos factores de disturbio, incluyendo mayores concentraciones de nutrientes (Chambers, Meyerson, & Saltonstall, 1999; Uddin & Robinson, 2018), con las consecuentes pérdidas en biodiversidad (Chambers *et al.*, 1999; Minchinton, Simpson, & Bertness, 2006). El presente trabajo muestra la importancia de entender la formación de este tipo de humedales flotantes en lagos del Altiplano, que

aunque poco diversos, juegan un papel importante en otros sentidos, como la acumulación de carbono.

Como parte de la exploración remota de la dinámica espacial del humedal, la exploración de disturbios, como los incendios, puede proporcionar una idea de la resiliencia de este sistema, así como del comportamiento de las especies nativas y las especies invasoras. Aunque se desconoce el origen de dichos incendios, es decir, si son naturales o inducidos, el hecho de encontrar áreas con señales de fuego en casi todas las imágenes satelitales es evidencia de que se trata de un fenómeno constante en el sitio. El estudio realizado por Escutia-Lara, Lara-Cabrera y Lindig-Cisneros (2009), en el que se evalúa el efecto del fuego en la dinámica de las hidrófitas en La Mintzita, Michoacán, sin duda es un importante precedente sobre el efecto del fuego en la estructura y composición del humedal, sugiriendo que tales eventos tienen un efecto positivo al reducir la cobertura de las especies dominantes como *T. dominguensis* y *S. americanus*, así como la competencia que a su vez promueve la expansión y proliferación de especies nativas y, por tanto, aumenta la diversidad. Cabe mencionar que este fenómeno se ha registrado en diversos tulares, como los de Chiapas (Rincón, 2014) y Veracruz (Moreno-Casasola, comunicación personal).

En este estudio, los valores de densidad aparente (0.13 g/cm^3) y materia orgánica (96 %) del sustrato del humedal son similares a los valores reportados para humedales con suelos orgánicos. De acuerdo con Mitsch y Gosselink (2015), los suelos orgánicos presentan densidades aparentes de 0.2 a 0.3 g/cm^3 , pero aquellos humedales formados por turba pueden presentar valores más bajos debido a la alta porosidad. En términos del almacén de carbono en el sustrato, los valores obtenidos de

$168 \pm 10 \text{ Mg C/ha}^{-1}$ son similares al resultado más alto reportado por Hernández y Moreno-Casasola (2018) en el suelo de selvas inundables (de 150 a 650 Mg C ha^{-1}). Estos resultados entran dentro del rango de C almacenado reportado en trabajos realizados en turberas tropicales al sureste de Asia, con 151.6 ± 36 y por debajo de ciénagas en Indonesia con $1\ 752 \pm 401 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ (Hergoualc'h & Verchot, 2011; Saragi-Sasmito, Murdiyarsa, June, & Sasmito, 2019). Como ya se mencionó, a diferencia del C almacenado en la superficie, la vegetación supone un almacén considerablemente pequeño, pero no por eso despreciable, pues supone la entrada de materia orgánica que eventualmente formará parte de la turba debajo de la biomasa aérea y la permanencia de la vegetación influye en la dinámica del C en un humedal, y promueve su secuestro (Bedard-Haughn *et al.*, 2006).

Se sabe que en el mundo los humedales almacenan grandes cantidades de carbono, aproximadamente 530 PgC (Mitsch & Gosselink 2015), y gran parte se encuentra en la superficie o suelos de turberas (Saragi-Sasmito *et al.*, 2019). Sin embargo, de acuerdo con la revisión realizada por Hernández y Moreno-Casasola (2018), este estudio es el primero en su tipo en la región oeste del país y comprueba el potencial de los humedales continentales para almacenar carbono, sobre todo en el suelo. Sin embargo, existen factores que pueden convertir a un humedal de almacén a fuente de C, como son alteraciones en la temperatura del suelo (Christensen *et al.*, 2003); la profundidad de la columna de agua (Moore, Roulet, & Waddington, 1998; Hirano *et al.*, 2007), y la composición química y cantidad de la materia orgánica (Christensen *et al.*, 2003).

A la fecha, se ha dado una gran importancia al carbono azul tanto en México como en el mundo. Estas evaluaciones consideran el carbono con influencia marina como el almacenado en manglares y pastos marinos. Sin embargo, México presenta turberas importantes tanto en zonas montañosas como costeras, dominadas por humedales de agua dulce. Estudios como el presente apuntan a la importancia de poner más atención e incrementar los trabajos en los distintos humedales de agua dulce. De manera particular, es importante tomar medidas para la conservación de este humedal y de su vegetación hidrófita, entre ellas reducir los incendios provocados, garantizar un buen manejo del lago en términos de su dinámica hídrica y calidad del agua que recibe. Sería deseable proponer que este lago sea reconocido como un sitio Ramsar, para coadyuvar a su conservación y manejo sustentable.

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas; al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca recibida por S. P-G; al Mtro. Rodrigo Velázquez-Duran, y al Laboratorio de Biogeoquímica de Suelos, IIES, UNAM, por los análisis de carbono. Este proyecto fue financiado por recursos institucionales del IIES-UNAM.

Referencias

Bedard-Haughn, A., Jongbloed, F., Akkerman, J., Uijl, A., Jong, E., Yates, T., & Pennock, D. (2006). The effects of erosional and management history on soil organic carbon stores in ephemeral wetlands of

- hummocky agricultural landscapes. *Geoderma*, 135, 296-306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.01.004>
- Brinson, M. M., & Malvárez, A. I. (2002). Temperate freshwater wetlands: Types, status, and threats. *Environmental Conservation*, 29, 115-133. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000085>
- Conagua & CEAC, Comisión Nacional del Agua & Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas. (2009). *Plan de Gestión Integral de los Recursos Naturales de la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. Morelia, México: Comisión Nacional del Agua & Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas.
- Cram, S., Galicia, L., & Alcántara, I. I. (2010). *Atlas de la cuenca del lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y su entorno socioambiental*. Instituto de Geografía-UNAM/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/132>
- Chambers, R. M., Meyerson, L. A., & Saltonstall, K. (1999). Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America. *Aquatic Botany*, 64, 261-273. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00055-8)
- Christensen, T. R., Ekberg, A., Ström, L., Mastepanov, M., Panikov, N., Oquist, M., Svenson, B. H., Nykanen, H., Martikainen, P. J., & Oskarsson, H. (2003). Factors controlling large scale variations in methane emissions from wetlands. *Geophysical Research Letters*, 30, 1-67. DOI: <http://doi.org/10.1029/2002GL016848>

- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65, 934-941. DOI: <https://doi.org/10.101017/MF14173>
- Escutia-Lara, Y., Lara-Cabrera, S., & Lindig-Cisneros, R. (2009). Efecto del fuego y dinámica de las hidrófitas emergentes en el humedal de la Mintzita, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80, 771-778.
- Fiedler, S., Vepraskas, M. J., & Richardson, J. L. (2007). Soil redox potential: Importance, field measurements, and observations. *Advances in Agronomy*, 94, 1-54. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)94001-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)94001-2)
- Hernández, M. E., & Moreno-Casasola, P. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. *Madera y Bosques*, 24. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401881>
- Hergoualc'h, K., & Verchot, L. V. (2011). Stocks and fluxes of carbon associated with land use change in Southeast Asian tropical peatlands: A review. *Global Biogeochemical Cycles*, 25. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009GB003718>
- Hirano, T., Segah, H., Harada, T., Limin, S., June, T., Hirata, R., & Osaki, M. (2007). Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biology*, 13, 412-425. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01301.x>
- Hoogsteen, M. J. J., Lantinga, E. A., Bakker, E. J., Groot, J. C. J., & Tittonell, P. A. (2015). Estimating soil organic carbon through loss on ignition: Effects of ignition conditions and structural water

- loss. *European Journal of Soil Science*, 66, 320-328. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12224>
- Huffman, E. N. (1997). Performance of a new automatic carbon dioxide coulometer. *Microchemical Journal*, 2, 567-573. DOI: [https://doi.org/10.1016/0026-265X\(77\)90128-X](https://doi.org/10.1016/0026-265X(77)90128-X)
- Jacobs, A. E., & Harrison, J. A. (2014). Effects of floating vegetation on denitrification, nitrogen retention, and greenhouse gas production in wetland microcosms. *Biogeochemistry*, 119, 51-66. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9947-9>
- Kotze, D. C. (2013). The effects of fire on wetland structure and functioning. *African Journal of Aquatic Science*, 38, 237-247. DOI: <https://doi.org/10.2989/16085914.2013.828008>
- Landgrave, R., & Moreno-Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental, Ciencia y Política Pública*, 4. Recuperado de www.revista.inecc.gob.mx/article/view/121#.XKlkl5gzblU
- Laubhan, M. K. (1995). Effects of prescribed fire on moist-soil vegetation and soil macronutrients. *Wetlands*, 15, 159-166. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03160669>
- Martin, K. L., & Kirkman, L. K. (2009). Management of ecological thresholds to re-establish disturbance-maintained herbaceous wetlands of the south-eastern USA. *Journal of Applied Ecology*, 46, 906-914. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01659.x>
- Masters, B. (2012). The ability of vegetated floating Islands to improve water quality in natural and constructed wetlands: A review. *Water*

- Practice and Technology*, 7. DOI:
<https://doi.org/10.2166/wpt.2012.022>
- Minchinton, T. E., Simpson, J. C., & Bertness, M.D. (2006). Mechanisms of exclusion of native coastal marsh plants by an invasive grass. *Journal of Ecology*, 94, 342-354. DOI:
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01099.x>
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., & Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, 28, 583-597. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands* (5th ed.). New York, USA: John Wiley and Sons Inc.
- Moore, T. R., Roulet, N. T., & Waddington, J. M. (1998). Uncertainty in predicting the effect of climatic change on the carbon cycling of Canadian peatlands. *Climate Change*, 40, 229-245. DOI:
<https://doi.org/10.1023/A:1005408719297>
- Nyman, J. A., & Chabreck, R. H. (1995). Fire in coastal marshes: History and recent concerns. In: *Fire in wetlands: A management perspective. Proceedings of the Tall Timbers Fire Ecology Conference*. Recuperado de http://talltimbers.org/wp-content/uploads/2014/03/NymanandChabreck1995_op.pdf
- Olmsted, I. (1993). Wetlands of Mexico. In: Whigham, D. F., Dykyjová, D., & Hejný, S. (eds.) *Wetlands of the world I: inventory, ecology and management. Handbook of vegetation science*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. DOI:
<https://doi.org/10.1007/978-94-015-8212-4>

- Paige, S. E., & Baird, A. J. (2016). Peatlands and global change: Response and Resilience. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, 35-57. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085520>
- Reddy, K. R., & De Laune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of wetlands: Science and applications*. CRC press, Boca Raton, USA.
- Rincón, P. M. (2014). *Bosques de zapotonales (Pachira aquatica) en la Reserva de la Biosfera la Encrucijada, Chiapas, México* (tesis de maestría en ciencias biológicas). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rojas, M. J., & Novelo, R. A. (1995). Flora y vegetación acuáticas del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, 31, 1-17.
- Rolletschek, H., Rolletschek, A., Hartzendorf, T., & Kohl, J. G. (2000). Physiological consequences of mowing and burning of *Phragmites australis* stands for rhizome ventilation and amino acid metabolism. *Wetlands Ecology and Management*, 8, 425-433. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026562002388>
- Smardon, R. (2014). Wetland ecology principles and conservation. *Water*, 6, 813-817. DOI: <https://doi.org/10.3390/w6040813>
- Saragi-Sasmito, M. F., Murdiyarso, D., June, T., & Sasmito, S. D. (2019). Carbon stocks, emissions, and aboveground productivity in restored secondary tropical peat swamp forests. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 521-533. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9793-0>

- Schmalzer, P. A., & Hinkle, C. R. (1992). Soil dynamics following fire in *Juncus* and *Spartina* marshes. *Wetlands*, 12, 8-21. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03160539>
- Uddin, M. N., & Robinson, R. W. (2018). Can nutrient enrichment influence the invasion of *Phragmites australis*? *Science of the Total Environment*, 613, 1449-1459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.131>
- van Asselen, S., Verburg, P. H., Vermaat, J. E., & Janse, J. (2013). Drivers of wetland conversion: A global meta-analysis. *PLoS ONE*, 8. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081292>
- van der Valk, A. (2012). *The biology of freshwater wetlands*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Watts, A. C., Kobsiar, L. N., & Snyder, J. R. (2012). Fire reinforces structure of pond cypress (*Taxodium distichum* var. *imbricarium*) domes in a wetland landscape. *Wetlands*, 32, 439-448. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0277-9>
- Yeh, N., Yeh, P., & Chang, Y. H. (2015). Artificial floating islands for environmental improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 616-622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.090>