



SECUESTRO DE CARBONO EN SUELOS DE HUMEDALES COSTEROS DE AGUA DULCE EN VERACRUZ

[SOIL CARBON SEQUESTRATION IN COASTAL FRESHWATER WETLANDS OF VERACRUZ]

José Luis Marín Muñiz¹, María Elizabeth Hernández Alarcón²*y Patricia Moreno-Casasola Barceló³

¹Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales. Ex-Hacienda Lucas Martín, Privada de Araucarias s/n, Col. Periodistas, C.P. 91019, Xalapa, Veracruz, México. soydrew@hotmail.com

Instituto de Ecología., A.C. Red de Manejo Biotecnológico de Recursos. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, AP 63, Xalapa 91070, Veracruz, México.

³Instituto de Ecología., A.C. Red de Ecología Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, AP 63, Xalapa 91070, Veracruz, México. patricia.moreno@inecol.edu.mx

*Autor para correspondencia: elizabeth.hernandez@inecol.edu.mx

RESUMEN

La participación de los humedales en el ciclo global del carbono (C) es de suma importancia, al actuar como sumideros de dicho elemento. La vegetación en los humedales es un factor que influye el almacenamiento de C en dichos ecosistemas. En este estudio se investigó el almacenamiento de C en suelos de humedales arbóreos (HA) y herbáceos (HH) de agua dulce de la planicie costera de Veracruz, México. Los sitios estudiados fueron: Estero Dulce (ED), Tecolutla y Laguna Chica (LCH), Vega de Alatorre. Las densidades aparentes observadas oscilaron de 0.1 a 1.15 g cm³. El contenido promedio de C en LCH fue mayor en HA (13.30±0.11 %) que en HH (4.52±0.02 %). Sin embargo, en los humedales de ED el contenido de C fue similar tanto en HA (5.88±0.03 %) como HH (5.28±0.02 %). En HH de LCH, se observó aproximadamente 50 % menos contenido de C en el suelo en comparación con el contenido de C del HA. En ED, el C almacenado en HH fue sólo 7.15 % menor que en HA. Al comparar el almacenamiento de C total de los HA (35.04±4.0 kg C m⁻²) y HH (24.8±4.0 kg C m⁻²), no se observaron diferencias (P = 0.213).

Palabras clave: Humedales de agua dulce; selvas inundables; popales; tulares; almacenamiento de carbono.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son zonas de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos y se caracterizan

SUMMARY

Wetlands play an important role in the global carbon (C) cycle because they act as sinks of this element. Vegetation in the wetlands is a factor that influences C storage in these ecosystems. We investigated C storage in freshwater wetland soils with different types of vegetation (swamps and marshes) in the coastal plain of Veracruz, Mexico. The study sites were: Estero Dulce (ED), Tecolutla and Laguna Chica (LCH), Vega de Alatorre. Bulk densities observed ranged from 0.1 to 1.15 g cm³. Average C stored in LCH was higher in swamp (13.30±0.11 %) than in marsh soils (4.52±0.02 %). However, in ED the C content was similar in swamp (5.88±0.03 %) and marsh soils (5.28±0.02 %). In LCH marshes, there was approximately 50 % less total C in the soil compared to the C content in the swamps. In ED, the C stored in the marshes was only 7.15 % lower than the C stored in the swamps. When the total C storage of freshwater swamps (35.04±4.0 kg cm⁻²) and marshes (24.8±4.0 kg cm⁻²) was compared, there was no effect caused by the type of vegetation (P = 0.213).

Key words: Freshwater wetlands; marshes; swamps; carbon storage.

porque sus suelos permanecen inundados temporal o permanentemente y pueden estar sujetos o no a la influencia de mareas. Los principales componentes de los humedales son las plantas, el suelo y el agua

(Mitsch y Gosselink, 2007). El área total global de los humedales ha sido estimada de 7×10^6 a 9×10^6 km², lo cual corresponde a un 4 a 6 % de la superficie de la tierra (Mitsch y Gosselink, 2007). En México, Olmsted (1993) estimó más de 3.3 millones de hectáreas de humedales, lo cual representa el 0.6 % de los humedales del mundo. A pesar de la poca extensión terrestre que los humedales ocupan, estos ambientes complejos y dinámicos han sido reportados como ecosistemas altamente productivos (Pant *et al.*, 2003; Infante y Moreno-Casasola, 2009).

De acuerdo con un esquema para la clasificación de humedales de México propuesto por Berlanga-Robles *et al.* (2008), en nuestro país los humedales se encuentran jerarquizados en tres ámbitos que son marino-costeros, continentales y artificiales, así como en cinco sistemas, mismos que son: marinos, estuarinos, fluviales, lacustres y palustres. Éstos últimos corresponden a aquellos humedales cuya entrada de agua es principalmente agua dulce y que se ubican entre un cuerpo de agua y la tierra firme elevada, y que corresponden a la vegetación que se encuentra en los márgenes de los ríos, de las lagunas de agua dulce o en las planicies inundables. Los humedales palustres están formados por árboles, arbustos y hierbas perennes, y se dividen en humedales herbáceos o arbustivos y arbóreos (Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Los humedales herbáceos son poblados por vegetación de popales, tulares, carrizales y matorrales arbustivos de varios tipos. Los humedales arbóreos incluyen a bosques riparios, palmares y selvas baja y mediana inundables (Moreno-Casasola e Infante, 2009).

Varias características físico-químicas y biológicas en los suelos-sedimentos de humedales regulan los ciclos de nutrientes, incluyendo el del carbono (C) (Pant *et al.*, 2003). Los humedales participan en el reciclaje del C atmosférico de dos maneras: al capturarlo y transformarlo en materia viva durante la fotosíntesis, y al secuestrarlo en el suelo (Warner *et al.*, 2005). Al caer los residuos orgánicos de la planta o cuando ésta llega al suelo por senescencia, el material vegetal se acumula en la superficie y se forma una capa de suelo muy rica en materia orgánica (turba). Sin embargo, no todos los compuestos de C se descomponen con la misma facilidad. La mayor parte del C se incorpora al suelo, aunque algunos compuestos como la lignina son más resistentes, permanecen sin descomponerse y se incorporan al suelo como material orgánico no descompuesto (Benner *et al.*, 1984; Warner *et al.*, 2005). La acumulación de materia orgánica en los suelos de humedales depende de la tasa de entrada (materia orgánica producida *in situ* y *ex situ*) y las

salidas (descomposición bajo condiciones anóxicas/anaerobias) (Kanwar *et al.*, 2003). La descomposición de material orgánico dentro de un humedal es un mecanismo complicado que involucra procesos aerobios y anóxicos/anaerobios (Hernández, 2010; Kayranli *et al.*, 2010). En los suelos de humedales, los promedios de descomposición de material orgánico suelen ser bajos por las condiciones anaerobias, por lo que su potencial de almacenamiento de C es alto (Kanwar *et al.*, 2003; Satrio *et al.*, 2009; Hernández, 2010).

Estudios previos han reportado que la cantidad de C acumulado en el suelo-sedimento de humedales varía de acuerdo con condiciones climáticas, tipo de vegetación, hidrología y condiciones físico-químicas del suelo. Bernal y Mitsch (2008), analizaron la acumulación de C en el suelo-sedimento en dos humedales templados (Ohio, USA) y tres humedales tropicales (Costa Rica). Los resultados indicaron que los humedales templados almacenaron mayor contenido de C que los humedales costarricenses estudiados. Zhong y Qiguo (2001), en la zona este y oeste de la República China, investigaron el almacenamiento de C en humedales con diferente tipo de vegetación (humedales de vegetación herbácea y arrozales). Los resultados obtenidos mostraron que el mayor almacenamiento de C se observó en los humedales con vegetación herbácea tanto en la zona este como oeste, mientras que en los campos de arrozales el C almacenado fue similar en ambas zonas de estudio. En México, a pesar de la existencia de humedales de agua dulce contiguos a lagunas, ríos y zonas costeras, los pocos estudios realizados han sido enfocados principalmente a humedales costeros salobres, como los manglares (Yañez-Arancibia *et al.*, 1998; López-Portillo y Ezcurra, 2002; Moreno *et al.*, 2002). Sin embargo, es escasa la información existente sobre la acumulación de C en suelos de humedales de agua dulce, y si dicha acumulación varía con respecto al tipo de vegetación presente.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el almacenamiento de C en humedales herbáceos y arbóreos de agua dulce ubicados en la planicie costera del estado de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los sitios de estudio

El estudio se realizó en dos selvas inundables (humedal arbóreo) y dos humedales herbáceos de agua dulce (popales-tulares), localizados en la costa norte del Estado de Veracruz, México. Los sitios fueron:

Estero Dulce, en el municipio de Tecolutla, Ver. (20° 17' Lat. N, 96° 52' Long. O), y Laguna Chica, en el municipio de Vega de Alatorre, Ver. (20° 05' Lat. N, 96° 41' Long. O). En Estero Dulce, la vegetación consiste de selva inundable (*Pachira aquatica* A.), manglares (*Rhizophora mangle* L. y *Laguncularia racemosa* (L.) G.) y humedales herbáceos (*Thalia geniculata* L. y *Cyperus giganteus* K.). En Laguna Chica la vegetación consiste de selva inundable (*Pachira aquatica* A., *Hippocratea celastroides* K.), manglares (*Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L.) y humedales herbáceos (*Cyperus giganteus* K. y *Typha domingensis* Pers.).

Monitoreo del suelo y determinación de carbono

Tanto en la selva inundable como en el humedal herbáceo se tomaron cuatro perfiles de suelo de aproximadamente 90 cm de profundidad en un área de aproximadamente 0.5 m², con ayuda de un nucleador (Russian peat borer). El funcionamiento de dicho nucleador consiste en enterrar en el suelo el dispositivo y posteriormente se le hace girar una manivela que se ubica en la parte superior, lo cual hace mover dentro del suelo una cuchilla de acero inoxidable delgada, la cual hace un corte de media luna que hace que el perfil tomado quede dentro del dispositivo. Por ser el nucleador de paredes delgadas y filosas, se evitan problemas de compactación. Después del corte, el nucleador es extraído del suelo y la sección del dispositivo donde el perfil es almacenado es abierta para que el perfil quede expuesto. Cada perfil obtenido fue dividido en profundidades de 2 cm. Un perfil se utilizó para la determinación de densidad aparente. Los segmentos de los tres perfiles restantes se mezclaron para obtener una muestra compuesta para determinar C orgánico.

La determinación de la densidad aparente se realizó de acuerdo con la siguiente fórmula: DAp = Densidad aparente (g cm³) = masa/volumen de suelo húmedo. El volumen de las muestras de suelo se determinó a partir del área y altura del nucleador correspondientes al segmento de suelo seccionado en el perfil (2 cm). Las muestras compuestas fueron secadas a temperatura ambiente, posteriormente se molieron (malla 1mm). Para la cuantificación de la materia orgánica, las muestras de suelo fueron pretratadas con HCl 10 M hasta no observar burbujeo (Hernández y Mitsch, 2007), con el objetivo de evitar interferencias de carbonatos posiblemente presentes en las muestras de suelo. Posteriormente, las muestras fueron analizadas por pérdida a la ignición a 450 °C durante 4 h (Bernal, 2008).

Para calcular el C orgánico se aplicó la siguiente fórmula:

% de C orgánico = % de materia orgánica X 0.58 (Factor de Van Bemmelen)

Con los datos obtenidos, se estimó la reserva de C en kg m⁻², de acuerdo con Moreno *et al.* (2002), con la fórmula: kg C m⁻² = [peso del suelo] * [% CO], donde: Peso del suelo (kg m⁻²) = [profundidad] * [DAp], % CO = contenido % de C orgánico

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados con el SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 12 para Windows. Una prueba de T para dos muestras independientes fue usada para detectar si había diferencias en el C almacenado en los dos tipos de humedales. Se realizaron correlaciones de Pearson para conocer el grado de relación existente entre el contenido de C orgánico y la densidad aparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente y contenido de carbono orgánico

Las densidades aparentes observadas en los humedales herbáceos y arbóreos de los dos sitios estudiados oscilaron de 0.1 a 1.15 g cm³. De acuerdo con Mitsch y Gosselink (2007), las densidades aparentes de suelos orgánicos de humedales van de 0.2 a 0.3 g cm³, y los suelos minerales presentan densidades aparentes de 1 a 2 g cm³, por lo que los resultados obtenidos sugieren que algunos horizontes de los suelos evaluados corresponden a suelos orgánicos, y los más profundos a suelos minerales. Los suelos ricos en materia orgánica tienen mayor porosidad y por lo tanto retienen un mayor volumen de agua; a medida que la densidad aparente aumenta, se reduce la porosidad del suelo y por lo tanto el contenido orgánico disminuye (Chen y Twilley, 2005; Cuevas *et al.*, 2006). Dicha relación se reafirma con la correlación negativa significativa observada entre el porcentaje de C orgánico y la densidad aparente en tres de los suelos de humedales evaluados (Figura 1a-c). La mayor correlación inversa entre el porcentaje de C orgánico y la densidad aparente se observó en los suelos del humedal arbóreo de Laguna Chica (r de Pearson= -0.67, P = 0.001) (Figura 1c), seguida del humedal herbáceo (r de Pearson= -0.55, P = 0.001) (Figura 1b) y arbóreo (r de Pearson= -0.39, P = 0.008) de Estero Dulce (Figura 1a). Sin embargo, la correlación negativa observada en el humedal herbáceo de Laguna Chica no fue estadísticamente significativa (r de

Pearson= -0.239, P= 0.137) (Figura 1d), lo cual podría estar relacionado con el tipo de suelo o con la comunidad de vegetación presente en dicho sitio. Al igual que lo observado en los humedales de Estero Dulce y el humedal arbóreo de Laguna Chica, Vimala *et al.* (2001), en humedales herbáceos y arbóreos de

Florida, EUA, y Turunen y Moore (2003), en turberas de Finlandia con residuos de especies arbóreas y herbáceas, observaron que a medida que el contenido de material orgánico tendía a aumentar, la densidad aparente del suelo disminuía.

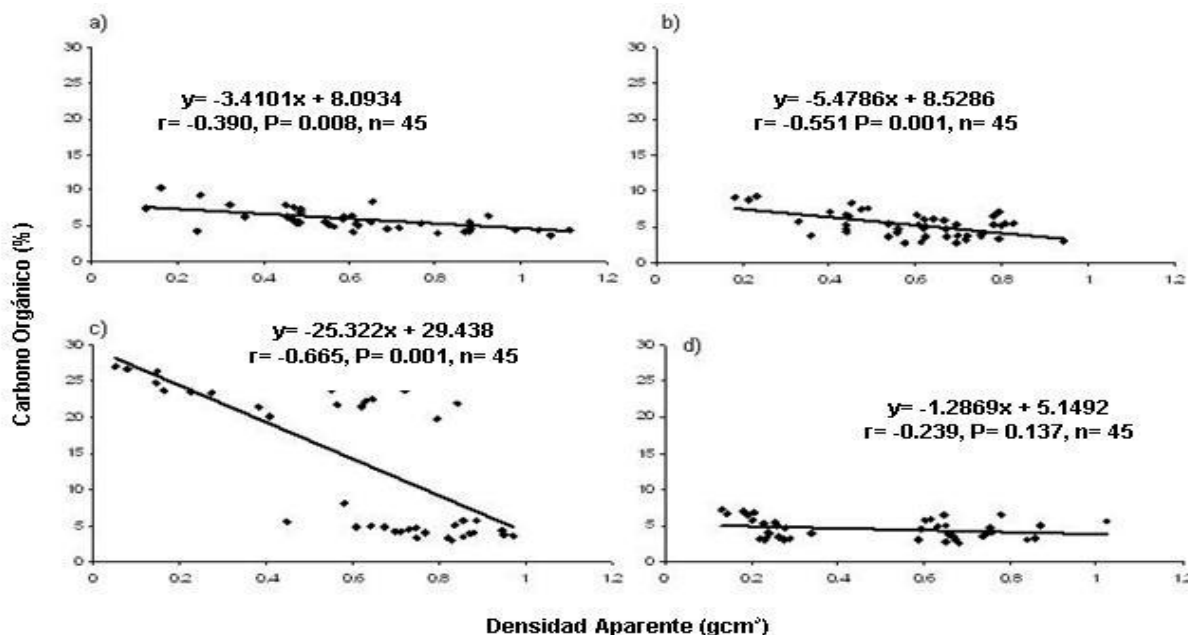


Figura 1. Relación entre la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico de las muestras de suelo obtenidas en Estero Dulce, municipio de Tecolutla, en Veracruz, México. a) Humedal arbóreo, b) Humedal herbáceo y Laguna Chica, c) Humedal arbóreo, y d) Humedal herbáceo.

Contenido de carbono orgánico

El contenido promedio de C orgánico observado en el perfil de suelo Laguna Chica fue más alto en el humedal arbóreo (13.30±0.11 %), en comparación con el contenido orgánico observado en el humedal herbáceo (4.52±0.02 %) (Figura 2). En ambos humedales se observó mayor contenido orgánico en los primeros 40 cm de profundidad, principalmente en el humedal arbóreo.

Sin embargo, en los humedales de Estero Dulce no se observó el patrón observado en los humedales de Laguna Chica (Figura 3). El contenido promedio de C orgánico observado en el suelo de los humedales de Estero Dulce fue similar (5.88±0.03 y 5.28±0.02 % en el humedal arbóreo y herbáceo, respectivamente). Las diferencias en los patrones de contenido orgánico en los dos sitios evaluados posiblemente fueron debidas a

diferencias en la temperatura del suelo, productividad primaria y al aporte hidrológico en cada tipo de humedal (Craft *et al.*, 2008).

Los resultados encontrados en este estudio fueron similares a los reportados por Yonghoon *et al.* (2001), en perfiles de suelo de 50 cm de profundidad en humedales herbáceos de la costa de Florida, EUA. Dichos autores reportaron de 0 a 9 % de C orgánico en la zona media del humedal herbáceo, y de 0 a 5 % de C en la zona alta del mismo humedal. Sin embargo, en la zona baja del humedal herbáceo, el porcentaje de C orgánico fue de casi 20 %. Los investigadores concluyeron que el alto contenido de C en la zona baja del humedal fue debido principalmente a que esa zona pertenece a la parte más antigua, y que el C que se está almacenando en el humedal evoluciona de la zona alta hacia la zona baja del ecosistema.

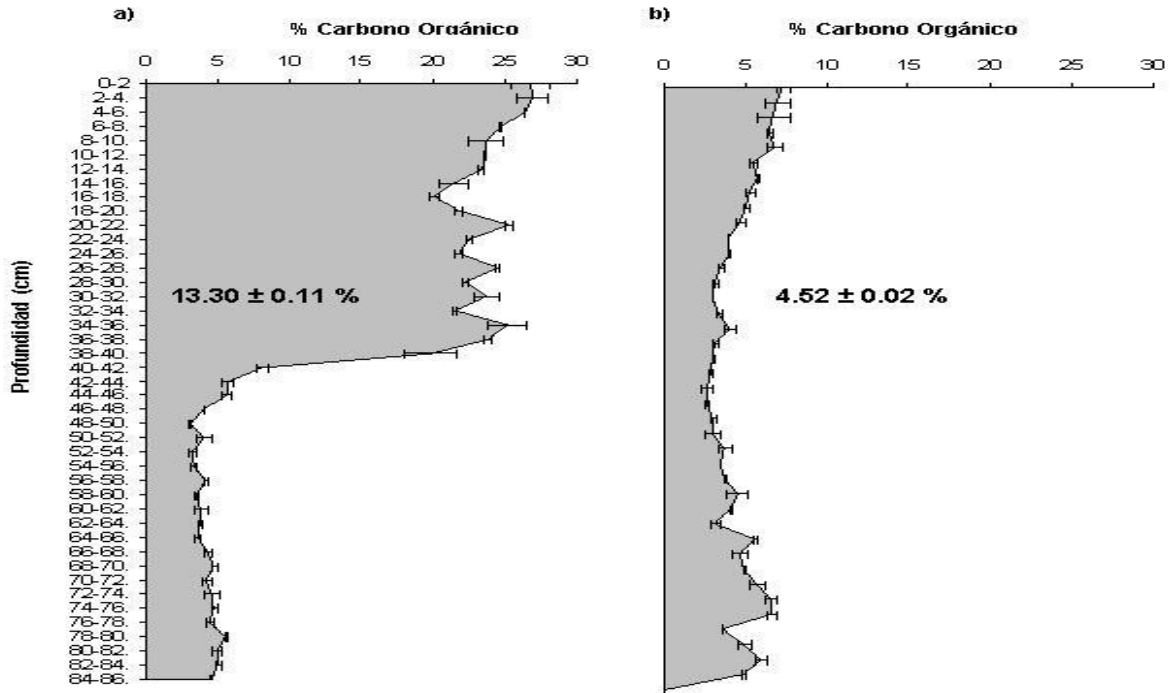


Figura 2. Porcentaje de carbono orgánico en los perfiles de suelo extraídos en los humedales de Laguna Chica, municipio de Vega de Alatorre, Veracruz, México. a) Humedal arbóreo, b) Humedal herbáceo. Las barras horizontales indican error estándar.

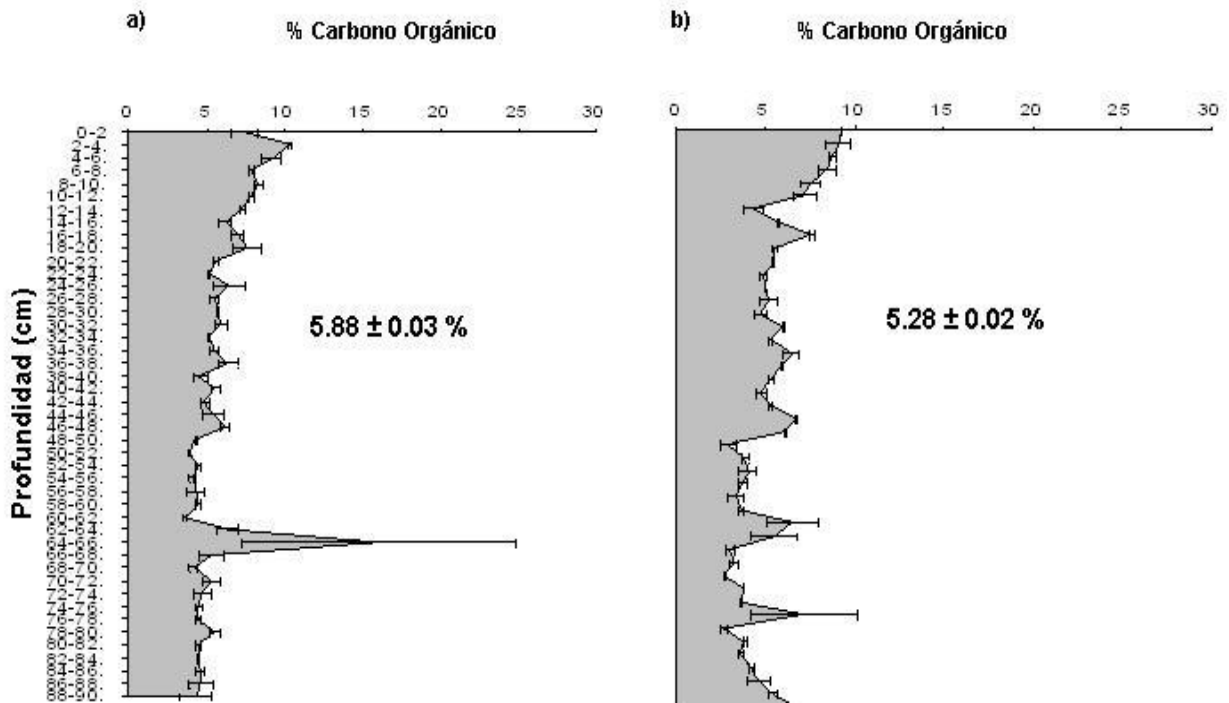


Figura 3. Porcentaje de carbono orgánico en los perfiles de suelo extraídos en humedales de Estero Dulce, municipio de Tecolutla, Veracruz, México. a) Humedal arbóreo, b) Humedal herbáceo. Las barras horizontales indican error estándar.

Almacenamiento de carbono

El almacenamiento de C del humedal arbóreo de Laguna Chica fue de 39.04 ± 0.01 kg C m⁻², mientras

que el C almacenado en el humedal herbáceo fue de 20.79 ± 0.006 kg C m⁻², una diferencia de aproximadamente 50 % (Tabla 1).

Tabla 1. Carbono almacenado (kg C m⁻²) en los dos sitios de estudio.

Sitio	Laguna Chica		Estero Dulce		Ambos humedales	
	HA	HH	HA	HH	HA	HH
C almacenado (kg C m ⁻²)	39.04±0.01	20.79±0.006	31.03±0.01	28.81±0.005	35.04±4.0 ^a	24.8±4.0 ^a

Carbono almacenado ± error estándar. HA = Humedal arbóreo, HH = Humedal herbáceo. Letras iguales entre los valores de C en ambos humedales indican que los valores no difieren significativamente (t-test, P = 0.213).

En Estero Dulce sólo se observó una diferencia de 7.15 % entre el humedal arbóreo (31.03 ± 0.01 kg C m⁻²) y el herbáceo (28.81 ± 0.005 kg C m⁻²). Aunque en Estero Dulce la diferencia del C almacenado entre los dos tipos de humedales fue menor a la observada en Laguna Chica, en ambos sitios la acumulación de C fue más alta en los humedales arbóreos que en los herbáceos, lo cual posiblemente fue debido a que en el humedal arbóreo hay tasas menores de descomposición provocadas por los desechos orgánicos de especies leñosas, los cuales según Benner *et al.* (1984), son más difíciles de degradar que los desechos de especies herbáceas, debido a los componentes recalcitrantes de lignina presentes en los tejidos de especies arbóreas.

Los resultados obtenidos en los humedales herbáceos evaluados fueron más altos (más del 25 %) que los reportados por Bernal y Mitsch (2008), quienes encontraron a 50 cm de profundidad una acumulación de 15.28 kg C m⁻² en un humedal costarricense, en el cual *Spathiphyllum* spp. era una de las especies dominantes, y a la acumulación observada por el mismo autor en un humedal de Ohio, EUA (14.26 kg C m⁻²), el cual era dominado por especies como *Typha angustifolia* L. y *Nelumbo lutea* W. Los resultados de este estudio fueron similares a los obtenidos por Zhong y Qiguo (2001) en humedales con vegetación herbácea en el este de China (25 kg C m⁻²), y a la acumulación de C observada por Yonghoon *et al.* (2001) en un sitio de la costa de Florida, EUA ($\sim 29 \pm 3.6$ kg C m⁻²) hasta los 86 cm de profundidad, en la zona baja de un humedal herbáceo (la parte más antigua del humedal).

La acumulación de C observada en el humedal arbóreo fue similar a lo reportado por Moreno *et al.* (2002) a 90 cm de profundidad en un sitio de manglar

dominado por *Rhizophora mangle* L. (47.1 kg C m⁻²) en Tabasco México, al obtenido a 100 cm de profundidad (44.4 kg C m⁻²) en un sitio dominado por *Laguncularia racemosa* (L.) G., y al contenido de C total reportado en turberas (38.5 a 52.1 kg C m⁻²) (Bao *et al.*, 2010) y humedales del oeste de China (cerca de 40 kg C m⁻²) (Zhong y Qiguo, 2001).

El C almacenado en el humedal arbóreo de Estero Dulce fue ~21 % menor que lo observado en el mismo tipo de humedal de Laguna Chica, lo cual podría estar relacionado con lo observado por Infante y Moreno-Casasola (2009), quienes en un estudio previo, evaluaron la productividad de dosel de la selva inundable de Laguna Chica, y encontraron una productividad de 1854 g m⁻² año⁻¹, y en la selva inundable de Ciénega del Fuerte (un humedal cercano a Estero Dulce) encontraron una productividad de 1651 g m⁻² año⁻¹. Cabe mencionar que además de la productividad puede haber otros factores involucrados responsables de la diferencia de resultados, como la hidrología y geomorfología de los humedales.

En el humedal herbáceo de Laguna Chica se observó ~28 % menos almacenamiento de C que en el humedal de Estero Dulce (Tabla 1). Al comparar el C almacenado en los humedales arbóreos (35.04 ± 4.0 kg C m⁻²) contra los humedales herbáceos (24.8 ± 4.0 kg C m⁻²) no se observaron diferencias significativas (P = 0.213). Esto indica que el tipo de humedal no provocó ningún efecto en el almacenamiento de C en el suelo de humedales. Resulta importante destacar que los datos reportados sobre el C almacenado en este trabajo fueron más altos que los reportados en regiones subtropicales (Yonghoon *et al.*, 2001), y en zonas templadas (Bernal 2008), lo cual indica que los humedales de agua dulce de regiones tropicales

representan importantes reservorios de almacenamiento de C en sus suelos.

CONCLUSIÓN

Se encontró una correlación negativa entre la densidad aparente y el contenido de C y orgánico en los suelos de los humedales arbóreos estudiados, es decir, a mayor valor numérico de la DAp, menor contenido de C orgánico. Sin embargo, en los humedales herbáceos no se observó dicha correlación en los dos sitios de estudio. El almacenamiento de C en los suelos de humedales herbáceos y arbóreos en los sitios estudiados fue similar. Dichos ecosistemas representan reservorios importantes de C en el planeta, ya que la cantidad almacenada por unidad de área en ellos es mayor a la reportada en suelos de humedales de regiones templadas y subtropicales.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por CONACYT Ciencia Básica con el proyecto 081942, y por la beca CONACYT 229637. Los autores agradecen al Biól. Ranulfo Castillo Del Moral, Lamberto Aragón, Arit Seleny De León Lorenzana, Ana Patricia Villa Zaragoza y Javier Alejandro Navarro Franco, por su apoyo en trabajo de campo y laboratorio.

REFERENCIAS

- Bao, K., Yu, X., Jia, L., Wang, G. 2010. Recent carbon accumulation in Changbai mountain peatlands, Northeast China. *Mountain Research and Development*. 30: 33-41.
- Benner, R., Maccubbin, A., Hodson, R. 1984. Anaerobic biodegradation of the lignin and polysaccharide components of lignocellulose and synthetic lignin by sediment microflora. *Applied and Environmental Microbiology*. 47: 998-1004.
- Berlanga-Robles, C., Ruiz-Luna, A., De la Lanza, G. 2008. Esquema de clasificación de humedales de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 66: 25-46.
- Bernal, B., Mitsch, W. J. 2008. A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio. *Ecological Engineering*. 34: 311-323.
- Chen, R., Twilley, R. 2005. A simulation model of organic matter and nutrient accumulation in mangrove wetland soils. *Biogeochemistry*. 44(1): 93-118.
- Craft, C., Washburn, C., Parker, A. 2008. Latitudinal trends in organic carbon accumulation in temperate freshwater peatlands. In: Vimazal, J. (ed.). *Wastewater treatment, plant dynamics and management in constructed and natural wetlands*. pp. 23-31.
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies A., Dorner J. 2006. Efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6(2): 1-12.
- Hernández, M. E., Mitsch W. J. 2007. Denitrification potential and organic matter as affected by vegetation community, wetland age, and plant introduction in created wetlands. *Journal of Environmental Quality*. 36: 333-342.
- Hernández, M. E. 2010. El papel de los suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*. 28: 139-147.
- Hossler, K., Bouchard V. 2010. Soil development and establishment of carbon-based properties in created freshwater marshes. *Ecological Applications*. 20: 539-553.
- Infante, D., Moreno-Casasola, P. 2009. Biomasa y productividad vegetal. In: Moreno-Casasola, P., Warner, B. (eds.). *Breviario para describir, observar y manejar humedales*. Serie Costa Sustentable No.1. RAMSAR, Instituto de Ecología A.C. CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, Ver. México.
- Kanwar, L. 2003. Organic matter accumulation in submerged soils. *Advances in Agronomy*. 81: 169-201.
- Kayranli, B., Cholz, M., Mustafa, A., Hedmark, A. 2010. Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review. *Wetlands*. 30: 111-124.
- López-Portillo, J., Ezcurra, E. 2002. Los manglares en México: una revisión. *Madera y Bosques*. 8: 27-51.

- Mitsch, W. J., Gosselink, J. 2007. *Wetlands*. 4a Ed. John Wiley and Sons. New York.
- Moreno-Casasola, P., López, H., Garza, S. 2000. La vegetación de los humedales Mexicanos. In: Abarca, F. J., Cervantes, M. (eds.). *Manual para el Manejo y la Conservación de los Humedales en México: textos adicionales*. Publicación especial. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; U.S. Fish & Wildlife Service; Arizona Game and Fish, Department; North American Wetlands Conservation, México.
- Moreno-Casasola, P., Rojas, J., Zárate, D., Ortiz, M., Lara, A. L., Saavedra, T. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problema. *Madera y Bosques*. 8: 61-88.
- Moreno-Casasola, P., Infante, D. M. 2009. *Manglares y Selvas Inundables*. Instituto de Ecología A. C. CONAFOR y OIMT. Xalapa, México.
- Moreno, E., Guerrero, A., Gutiérrez, M., Ortiz, C., Palma, D. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques*. 8: 115-128.
- Olmsted, I. 1999. 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*, Kluwer, Dordrecht. pp. 637-678.
- Pant, H., Rechcigl, J., Adjei, M. 2003. Carbon sequestration in wetlands: concept and estimation. *Food, Agriculture and Environment*. 1: 308-313.
- Satrio, A. E., Gandeseca, S., Ahmed, O., Majid, N. 2009. Effect of precipitation fluctuation on soil carbon storage of a tropical peat swampy forest. *American Journal of Applied Sciences*. 6: 1484-1488.
- Turunen, J., Moore, T. R. 2003. Controls on carbon accumulation and storage in the mineral subsoil beneath peat in Lakkasuo mire, central Finland. *European Journal of Soil Science*. 54(2): 279-286.
- Vimala, D., Donald, A., Graetz, K., Ramesh, R., Olila, O. 2001. Soil development in phosphate-mined created wetlands of Florida, USA. *Wetlands*. 21 :232-239.
- Warner, B., Aravena, R., Moreno-Casasola, P. 2005. Cambio climático y reciclaje de carbono en los humedales costeros. In: Moreno-Casasola, P., Peresbarsoba, R., Travieso-Bello, A. C. (eds.). *Estrategias para el Manejo Costero Integral: El Enfoque Municipal*. Instituto de Ecología, A. C., Gob. Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Ver. pp. 297-318.
- Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R., Lara-Domínguez, A. L. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*. 4: 3-19.
- Yonghoon, C., Yang, W., Yuch-Ping, H., Larry, R. 2001. Vegetation succession and carbon sequestration in a coastal wetland in northwest Florida: evidence from carbon isotopes. *Global Biogeochemical Cycles*. 15: 311-319.
- Zhong, L., Qiguo, Z. 2001. Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China. *Plant and Soil*. 231: 175-185.

Submitted February 16, 2011 – Accepted May 13, 2011
Revised received May 30, 2011