

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS DE MANGLAR DE ISLA DEL CARMEN

EVALUATION OF CARBON STORAGE POTENTIAL IN MANGROVE SOILS OF ISLA DEL CARMEN

Giovanni de Jesús Moreno May¹, Julia Griselda Cerón Bretón², Rosa María Cerón Bretón², Jesús Jaime Guerra Santos³, Luis Enrique Amador del Ángel³, Esthela Endañú Huerta³.

Fecha de recepción 23 de Febrero de 2010

Fecha de aceptación 26 de Mayo 2010

RESUMEN

El potencial de captura de carbono fue evaluado en el suelo del ecosistema de manglar en dos sitios ubicados a las orillas de la Laguna de Términos. El trabajo de campo fue realizado en Estero-Pargo y Bahamitas entre los meses de febrero y agosto de 2009. Los bosques de manglar en estos dos sitios han estado sujetos a contaminación antrópica y se consideran como muy perturbados. Se realizaron seis muestreos considerando dos profundidades de suelo (30 y 60 cm) y tres periodos climáticos (estación de "Nortes", estación seca y estación lluviosa). La influencia estacional sobre el almacenamiento de carbono fue evidente, sin embargo, la influencia de mareas también fue significativa, con el almacenamiento de carbono más alto durante las estaciones de Nortes y secas (de 10.63 a 37.64 Kg C m⁻² para Estero-Pargo, y de 12.8 a 39.9 Kg C m⁻² para Bahamitas). El almacenamiento de carbono fue más alto en suelos inundados con vegetación dominante de mangle rojo en comparación con aquellas parcelas de muestreo inundadas sólo ocasionalmente, donde la vegetación dominante es de mangle botoncillo. Los contenidos de materia orgánica y de car-

bono orgánico fueron más altos a 30 cm de profundidad durante la época de Nortes, cuando tuvieron lugar lluvias intensas y periodos de mareas que inundaron los sitios, con bajo contenido de materia orgánica y manteniendo condiciones anóxicas en los primeros 30 cm de suelo. Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los reportados para otros sitios, se puede concluir que los suelos arenosos y neutros como los del área de estudio, con asociaciones de mangle rojo, tienen un buen potencial de captura de carbono. El manejo correcto de los bosques de manglar en esta zona constituye una oportunidad para el incremento en el almacenaje de carbono, por lo tanto, se espera que estos resultados sean útiles para promover acciones de conservación y reforestación con el apoyo de los Gobiernos Municipal y Estatal.

PALABRAS CLAVE: Reservorios de carbono, bosque de manglar, humedales, Laguna de Términos.

¹Egresado de la Maestría en Ingeniería Química de la Universidad Autónoma del Carmen.

²DES-DACQ y P Universidad Autónoma del Carmen.

³Centro de Investigación de Ciencias Ambientales de la DES-DACNAT Universidad Autónoma del Carmen, Av. 56 No. 4 Col. Benito Juárez C.P. 24180 Ciudad del Carmen, Campeche, México.

ABSTRACT

Carbon storage potential of mangrove forest in Campeche, Mexico, was investigated. The field work was conducted at two sites at the border of the estuary named "Laguna de Términos": Estero-Pargo and Bahamitas from February to August 2009. Mangrove forest in both sites has been subjected to anthropogenic pollution during the last years and it can be considered as perturbed. Six sampling stages were performed considering two soil depths (30 and 60 cm) and three climatic periods ("Nortes" season (north wind), dry season and rainy season). Seasonal influence on carbon storage was evident, but also the influence of tides was significant, with the highest carbon storage during "Nortes" and dry season (ranged from 10.63 to 37.64 Kg C m⁻² at Estero-Pargo, and from 12.8 to 39.9 Kg C m⁻² at Bahamitas). Carbon storage was higher in flooded soils with dominant vegetation of red mangrove in comparison with occasionally flooded sampling zones where dominant vegetation was button mangrove. Organic matter and organic carbon contents were higher at 30 cm depth during "Nortes" season, when heavy rains and the long periods of tidal flooding occurred with low rates of litter export that maintained anoxic conditions. Comparing the results with carbon storage data obtained in other sites, it can be suggested that neutral and sandy soils at the study area associated with red mangrove have a good potential of carbon storage. A proper mangrove forest management constitutes a good opportunity to increase the carbon storage potential, it can be concluded that this potential will increase in the next years. It has been expected that this results can contribute to improve conservation and reforestation actions supported by local and regional governments.

KEY WORDS: Carbon sinks, mangrove forest, wetlands, Campeche.

INTRODUCCIÓN

Debido al incremento en la concentración de Bióxido de Carbono (CO₂) atmosférico, existe actualmente una creciente preocupación de la comunidad científica sobre el potencial de captura de carbono de varios ecosistemas terrestres. Sin embargo, la mayoría de los estudios están relacionados con sistemas agrícolas y forestales y se le ha dado poca atención a los humedales.

Los suelos orgánicos pueden actuar como fuentes o sumideros de bióxido de carbono atmosférico dependiendo de las prácticas de uso de suelo, el clima, la textura y la topografía (Zinn *et al.*, 2005; Lal, 2005). Los humedales cubren solo el 5 % de la superficie terrestre, sin embargo, constituyen importantes sumideros de carbono, contribuyendo en un 40 % en la captura de CO₂ (Mitsch and Gosselink, 2000). Por otro lado, los humedales estuarinos tienen una capacidad de secuestro de carbono por unidad de área mucho mayor que otros sistemas de humedales (Bridgham *et al.*, 2006) y almacenan carbono con una liberación mínima de gases de efecto invernadero debido a la inhibición de la metano-génesis por los sulfatos (Magenheimer *et al.*, 1996).

Los manglares dominan aproximadamente el 75 % de la línea de costa del mundo entre las latitudes 25° N y 25° S y están adaptados a áreas caracterizadas por altas temperaturas, salinidades fluctuantes y substratos anaeróbicos (Day *et al.*, 1987). Por esta razón, el bosque de manglar juega un papel

importante en las funciones de los ecosistemas costeros tropicales y tiende a ser un exportador neto de materia orgánica, se reporta que casi el 80 % del balance orgánico total en Union Bays, Florida fue aportado por el bosque de manglar que rodea a las bahías (Carter *et al.*, 1973). Por otro lado, se evaluó el potencial de secuestro de carbono para zonas inundables en China y reportan que el bosque de manglar tuvo la más alta tasa de captura de carbono de todos los ecosistemas estudiados (Xiaonan *et al.*, 2008). Como parte de los esfuerzos para disminuir las concentraciones de bióxido de carbono atmosférico, algunos países que han firmado el Protocolo de Kyoto, están comprometidos a establecer sus inventarios de almacenaje de carbono (Howe *et al.*, 2009; Xiaonan *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2007) y la mayoría de ellos están integrando sus inventarios por región y por ecosistema.

México tiene 113 sitios Ramsar con una superficie total de 8 millones 161 mil 357 hectáreas y los ecosistemas de manglar constituyen el principal sistema de humedales en el país. Los datos publicados del área total de bosque de manglar en México muestran algunas discrepancias debido en parte a las diferentes metodologías aplicadas para realizar estas estimaciones. Además, no existe un conocimiento exacto acerca de los factores que han influido sobre los cambios observados a lo largo del tiempo. Afortunadamente, la Comisión Nacional para el estudio de la Biodiversidad (CONABIO) ha unificado criterios y metodologías y reporta para México una cobertura de manglar de 655 mil 667 hectáreas. El estado de Campeche tiene la mayor cobertura de manglar del país (30% del total) incluyendo áreas naturales protegidas y sitios Ramsar como La Laguna de Términos y Los Petenes (CONABIO, 2008).

Los manglares constituyen uno de los ecosistemas tropicales y subtropicales principalmente amenazados que está siendo degradado en la mayoría de los países de-

bido fundamentalmente a su mal manejo (actividades antrópicas, explotación no controlada y el desarrollo no sostenible de la industria hotelera). El conocimiento de la capacidad de secuestro de carbono y la interacción entre el almacenaje de carbono y los factores edáficos o vegetales, puede ayudar de algún modo a identificar áreas críticas cuyo uso de suelo o cambio de uso de suelo sean de particular interés desde el punto de vista de ganancia o pérdida de carbono en el suelo.

A pesar de que los ecosistemas terrestres han sido ampliamente reconocidos por su capacidad para la captura de carbono, existen pocos estudios sobre el almacenamiento de carbono en ecosistemas de manglar, siendo que esta función constituye uno de los principales servicios ambientales que pueden ofrecer. Los estudios sobre este tema en México son escasos y están limitados a inventarios dispersos en algunas regiones. Por lo tanto, como parte de un esfuerzo por realizar el inventario del almacenaje de carbono en los ecosistemas de manglar que rodean a la Laguna de Términos, se desarrolló este trabajo para estimar el potencial de captura de carbono en suelos de bosques de manglar en dos áreas de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Se seleccionaron dos áreas: Estero-Pargo y Bahamitas, localizadas a la orilla del área natural protegida "Laguna de Términos", sitio Ramsar desde el año 2004 (Figura 1). Ubicada en la base suroeste de la Península de Yucatán y constituye el estuario más grande en México. La Isla del Carmen forma una barrera arenosa entre la Laguna de Términos y el mar abierto y está casi completamente rodeada de bosque de manglar de distintas especies (*Rhizophora mangle* L.,

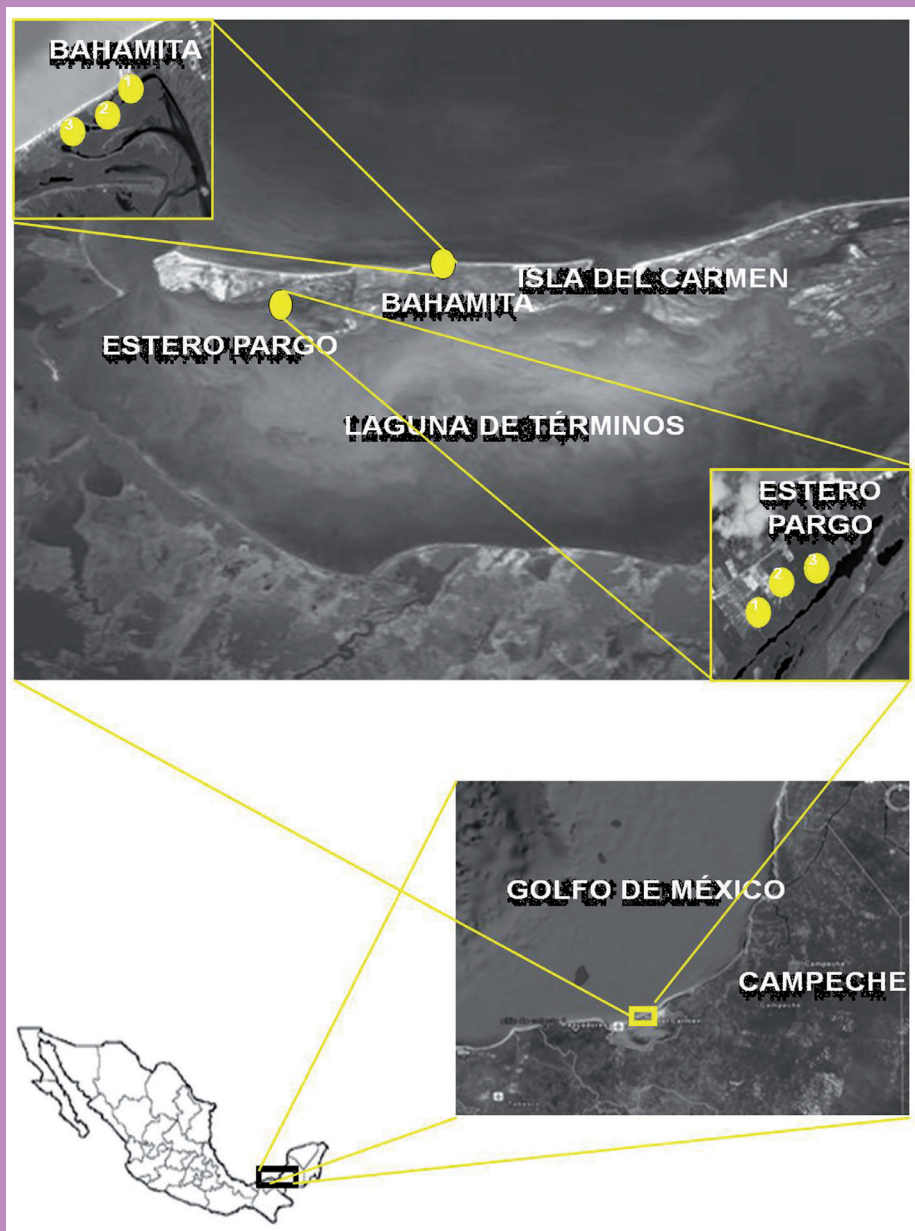


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en el área de estudio.

Avicennia germinans Jacq., *Laguncularia racemosa* L. y *Conocarpus erectus* L.) (Day et al., 1987). El bosque de manglar constituye un componente importante dentro del ecosistema de la laguna. Las máximas velocidades del viento fluctúan entre 50 y 60 km h⁻¹, presentándose durante la estación de Nortes. La precipitación promedio anual (1680 mm) es estacional, con la estación seca ocurriendo de febrero a mayo y la estación húmeda de junio a octubre. El periodo en el cual el Golfo de México está sujeto a la influencia de frentes fríos ocurre de noviembre a febrero y se denomina "época de Nortes".

MÉTODO DE MUESTREO E INVENTARIO FORESTAL

El trabajo de campo se realizó de Febrero a Agosto del 2009. Para evaluar la influencia estacional sobre el almacenaje de carbono, las campañas de muestreo fueron realizadas considerando tres periodos climáticos: Estación de Nortes, Estación Seca y el inicio de la Estación Lluviosa; con un total de seis campañas de muestreo. No todas las parcelas de muestreo tuvieron influencia de marea comparables durante el periodo de estudio, el sitio de Bahamitas estuvo siempre inundado (recibió una inundación regular de mareas y estuvo cubierto con agua fresca durante la época de Nortes y la estación lluviosa), mientras que el sitio de Estero-Pargo sólo estuvo inundado como resultado de la ocurrencia de lluvia durante la época de frentes fríos (Nortes) y la estación lluviosa.

En cada sitio, se seleccionaron tres parcelas de muestreo de 4 x 12 m, considerando el libre acceso a la zona, los riesgos, la distribución de manglar por especie y el grado de perturbación (Figura 1, Cuadro 1). Con base en inspecciones visuales, se establecieron transectos en un área representativa de bosque de manglar, ubicando tres puntos de muestreo de un metro cuadrado aproximadamente para cada una de las tres parcelas de muestreo en ambos sitios.

Se realizó el inventario forestal para cada una de las parcelas de muestreo en ambos sitios. Se colectaron muestras por duplicado de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm de profundidad utilizando un nucleador de suelos de 193.3 cm³ (Cuadro 2).

Debido a la humedad en los suelos, el nucleador fué provisto de una válvula de una vía, que crea un vacío en el interior de la tubería, conforme se empuja al suelo, y al retirar el dispositivo, se produce una fuerza de succión que retiene la muestra dentro del nucleador. Se utilizó este método de muestreo ya que ha sido probado para suelos inundados (Grossman y Reinsch, 2002; Bernal y Mitsch, 2008). Se tomaron un total de 216 muestras con sus réplicas. Después de la extracción, cada núcleo de suelo fue etiquetado, sellado y enviado al laboratorio para su análisis (NOM-021-RECNAC-2000).

MÉTODO DE ANÁLISIS

El peso húmedo fue registrado y los núcleos de suelo se dejaron secar a temperatura ambiente, el peso fue registrado para obtener la densidad aparente. Se removieron conchas, rocas, raíces y cualquier biomasa; las muestras secas se trituraron hasta pasar a través de un tamiz de 2 mm.

Los parámetros físicos y químicos de cada muestra de suelo fueron determinados de acuerdo a procedimientos estándar. El pH y la conductividad fueron obtenidos utilizando una solución 1:5 de suelo/agua (Van Reeuwijk, 2002). El análisis textural de las muestras de suelo seco (análisis granulométrico) se realizó utilizando un hidrómetro (NOM-021-RECNAT-2000). Se determinó la humedad gravimétrica (Etchevers, 2005).

El Nitrógeno total fue analizado utilizando el método semi-micro-kjeldahl (NOM-021-RECNAT-2000). El análisis de materia orgánica fue realizado con el método de oxidación con dicromato (NOM-021-RECNAT-2000),

también se determinó la densidad aparente (Gandoy, 1991). El inventario forestal fue realizado utilizando un clinómetro (Suunto PM-5/1520) y las mediciones de diámetro con una cinta diamétrica.

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO

A partir del contenido de carbono orgánico [% CO], el peso seco del suelo en ton ha⁻¹, la profundidad del suelo muestreado (cm), y la densidad aparente (g cm⁻³), el potencial de captura de carbono (Kg C m⁻²) fue obtenido utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Mg C ha}^{-1} \text{ o kg C m}^{-2} = [\text{peso del suelo}] [\% \text{ CO}]$$

Donde:

Peso del suelo [ton ha⁻¹] = [profundidad del suelo muestreado] [densidad aparente]

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La estadística descriptiva fue obtenida para cada parcela de muestreo, punto de muestreo, profundidad de muestreo y estación del año. Los valores medios de las variables físicas y químicas fueron estimados y comparados utilizando la prueba de Duncan. Las pruebas de hipótesis fueron realizadas mediante una ANOVA de dos vías para evaluar las diferencias entre parcelas de muestreo, puntos de muestreo, profundidades y estaciones climáticas. Todas las pruebas fueron realizadas con SAS v. 8.0 (Rebollo, 2002). La regresión lineal múltiple fue empleada para relacionar el almacenaje de carbono registrado en cada parcela de muestreo, punto de muestreo, profundidad de muestreo y estación climática, con las variables físicas y químicas medidas. Los coeficientes de correlación de Pearson fueron analizados ($p < 0.05$) para definir cuáles

variables están significativamente correlacionadas con los valores de almacenaje de carbono observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

HUMEDAD

Los sitios de muestreo estuvieron inundados la mayor parte del tiempo, se puede observar que los suelos estuvieron más húmedos durante la temporada de Nortes y de Secas debido a la influencia de mareas (Figura 2). Se encontraron diferencias estadísticas entre las estaciones climáticas y las profundidades de muestreo. La humedad no presentó diferencias estadísticas entre ambos sitios y no se encontró una correlación entre la humedad y el almacenaje de carbono.

TEXTURA

La Isla del Carmen tiene un origen sedimentario, por esta razón, los suelos arenosos son dominantes en el área de estudio. En ambos sitios, las muestras de suelo presentaron una textura arenosa.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica varió de 0.31 a 4.07 dS m⁻¹ para Estero-Pargo y de 2.10 a 17.38 dS m⁻¹ para Bahamitas. Se encontraron diferencias estadísticas entre la profundidad de muestreo y los periodos climáticos; y no se encontró correlación entre la conductividad eléctrica y el almacenaje de carbono (Figura 3).

Cuadro 1. Ubicación de las parcelas de muestreo y sus características generales.

Sitio de muestreo	Parcela de muestreo	Latitud N	Longitud W	Características
ESTERO-PARGO	1	18° 39' 02.8''	91° 45' 46.7''	Ubicado a 20 m de la orilla de la Laguna de Términos. Sólo inundada y cubierta de agua fresca durante la temporada de Nortes y la estación lluviosa. Este sitio presenta una asociación de mangle rojo, blanco y botoncillo; siendo mangle blanco la especie dominante.
	2	18° 39' 02.2''	91° 45' 45.7''	
	3	18° 39' 02.0'	91° 45' 45.0''	
BAHAMITAS	1	18° 41' 57.1''	91° 41' 50.7''	Presencia de aguas residuales y basura. Ubicado a la orilla de la Laguna de Términos. Siempre inundado. Inundado con cada marea y cubierto de agua fresca durante la temporada de Nortes y la estación lluviosa. Este sitio presentó una asociación de mangle rojo, blanco y negro, siendo la especie dominante el mangle rojo.
	2	18° 41' 51.8''	91° 42' 01.2''	
	3	18° 41' 50.6''	91° 42' 03.6''	

Cuadro 2. Inventario Forestal para cada parcela de muestreo en cada uno de los sitios del área de estudio.

ESTERO-PARGO													
parcela	Distribución de las especies (número de individuos)				Diámetro medio a la altura del pecho (cm)	Altura media del árbol (m)				Altura máxima del árbol (m)			
	RM	WM	BM	BuM		RM	WM	BM	BuM	RM	WM	BM	BuM
1*	-	-	-	33	5.73	-	-	-	1.13	-	-	-	1.15
2*	-	115	-	-	4.14	-	0.93	-	-	-	1.45	-	-
3*	4	3	-	-	49.34	5.37	6.79	-	-	10.7	9.87	-	-
BAHAMITAS													
parcela	Distribución de las especies (número de individuos)				Diámetro medio a la altura del pecho (cm)	Altura media del árbol (m)				Altura máxima del árbol (m)			
	RM	WM	BM	BuM		RM	WM	BM	BuM	RM	WM	BM	BuM
1*	5	4	15	-	9.49	2.72	1.23	2.25	-	4.06	1.49	6.39	-
2*	20	4	2	-	6.99	5.61	1.12	2.92	-	6.88	2.34	3.25	-
3*	12	5	18	-	5.31	2.49	1.49	1.77	-	3.50	4.37	3.65	-

*Etapas de evolución del bosque para todas las parcelas de muestreo: De jóvenes a maduros en edad reproductiva, produciendo semillas cada año. Edad del rodal: 15 años.

RM=Mangle rojo., WM=Mangle blanco., BM=Mangle negro., BuM=Mangle botoncillo.

- No hubo individuos presentes en el rodal.

POTENCIAL DE IONES HIDRÓGENO (pH)

Los rangos de pH fueron de 6.8 a 7.1 para Estero-Pargo y de 6.7 a 7.5 para Bahamitas; esto sugiere que los suelos neutros dominan dentro del área de estudio. No se encontraron diferencias estadísticas entre las par-

celas de muestreo y las profundidades de muestreo. Ni tampoco en el pH entre ambos sitios de estudio y no se encontró una correlación entre el pH y el almacenamiento de carbono (Figura 4).

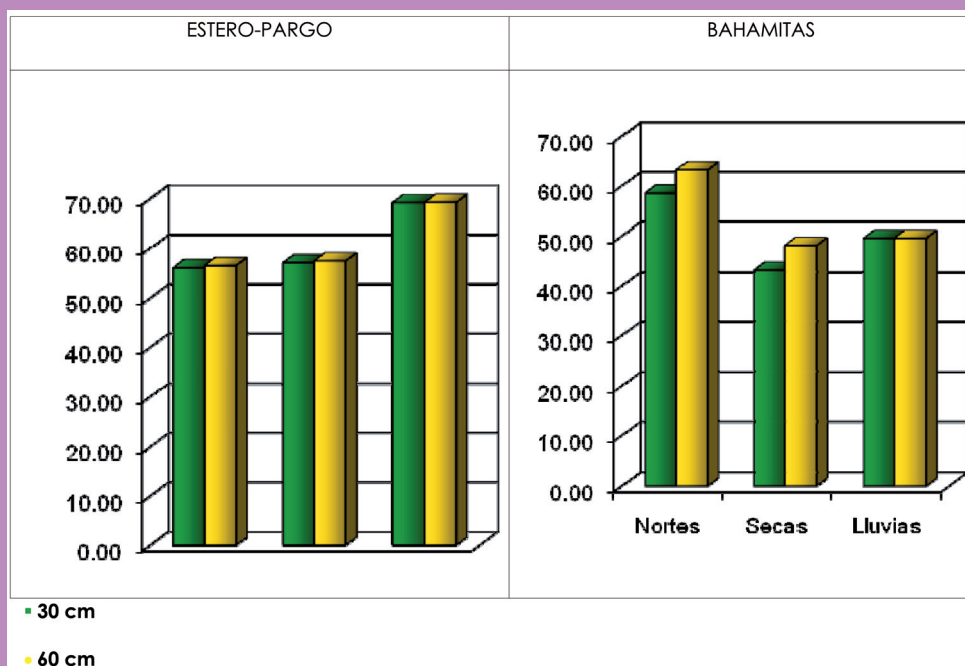


Figura 2. Humedad gravimétrica (%) para los dos sitios de muestreo, para cada parcela y para cada periodo climático considerado en este estudio.

DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente varió de 0.55 a 1.24 g cm⁻³ para Estero-Pargo y de 0.57 a 1.09 g cm⁻³ para Bahamitas. En Estero-Pargo hubo diferencias estadísticas entre los periodos climáticos y las profundidades de muestreo. La densidad aparente no presentó diferencias estadísticas entre ambos sitios y no se encontró una correlación significativa entre la densidad aparente y el almacenaje de carbono (Figura 5).

El contenido total de nitrógeno varió de 0.03 a 0.44 % para Estero-Pargo y de 0.02 a 0.40 % para Bahamitas. Se encontraron diferencias estadísticas entre periodos climáticos y profundidades de muestreo. El contenido total

de nitrógeno mostró diferencias estadísticas en ambos sitios considerando los periodos climáticos y no hubo una correlación entre el contenido de nitrógeno y el almacenaje de carbono (Figura 6).

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Los contenidos de materia orgánica fluctuaron entre 4.84 y 33.95 % para Estero-Pargo y entre 7.66 y 27.12 % para Bahamitas. Los valores más altos fueron encontrados durante las estaciones de Nortes y de secas (Figura 7).

Se encontraron diferencias estadísticas entre los periodos climáticos y las profundidades de muestreo. La materia orgánica tuvo diferencias estadísticas en ambos sitios y se

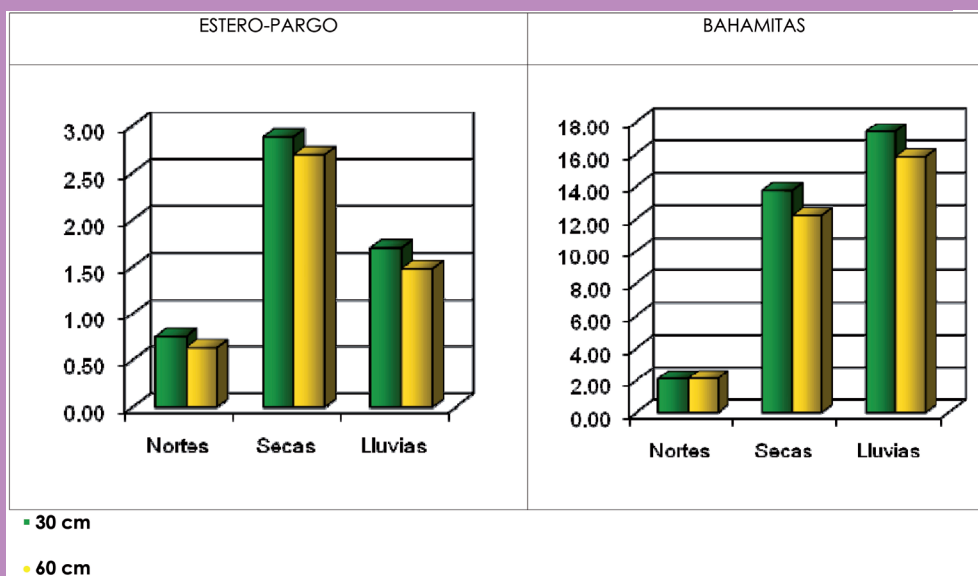


Figura 3. Valores de conductividad eléctrica (dS m⁻¹) para ambos sitios de muestreo, para cada parcela y para cada período climático.

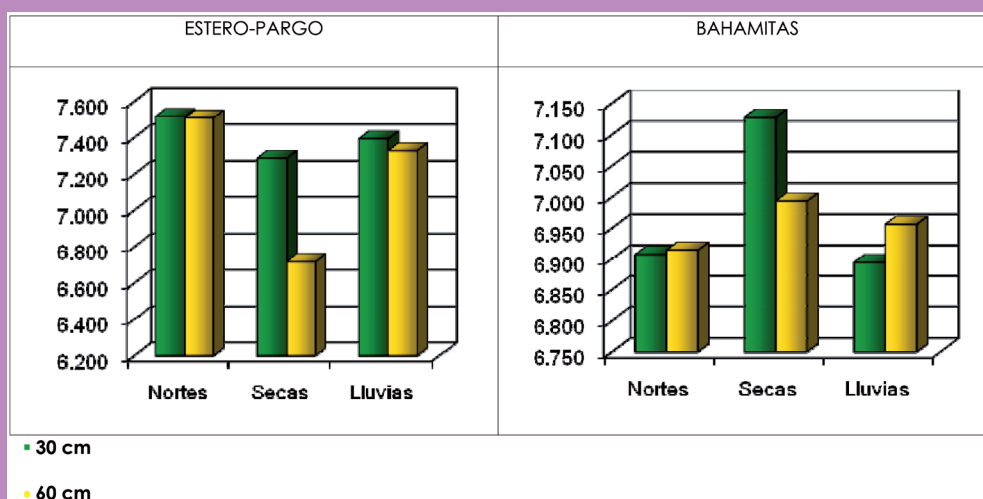


Figura 4. Valores de pH para ambos sitios de muestreo, para cada parcela y para cada período climático.

encontró una correlación significativa entre la materia orgánica y el almacenaje de carbono. El contenido de materia orgánica fue más alto en los primeros 30 cm de profundidad para todas las parcelas de muestreo en ambos sitios (Figura 7). En el área de estudio, los largos periodos de inundación por mareas mantuvieron condiciones anóxicas (por debajo de los 10 cm de profundidad) y altos contenidos de materia orgánica. Lo anterior puede deberse al alto contenido de materia orgánica encontrado en los primeros 30 cm de profundidad. Además, el proceso de acumulación de materia orgánica es acelerado en sitios con abundante caída de precipitación (lluvias intensas ocurrieron durante la época de Nortes) o con

drenaje insuficiente, esta situación se observó en ambos sitios de muestreo.

A pesar de que durante la estación lluviosa, la acumulación de materia orgánica incrementa, la descomposición es lenta; esto puede explicar los valores de materia orgánica ligeramente bajos obtenidos durante esta estación. Esta acumulación permanece hasta las estaciones de Nortes y Secas, resultando en valores máximos durante estas temporadas del año.

CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO

El contenido de carbono orgánico varió de 2.81 a 19.7 % para Estero-Pargo y de 4.76 a 15.73 % para Bahamitas. Hubo diferencias

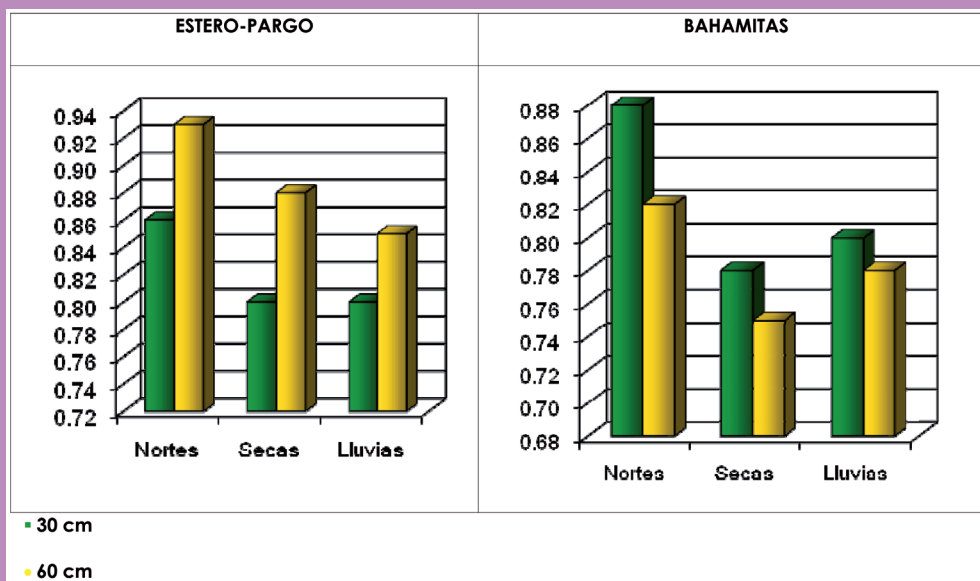


Figura 5. Valores de densidad aparente (g cm^{-3}) para ambos sitios de muestreo, para cada parcela y para cada período climático.

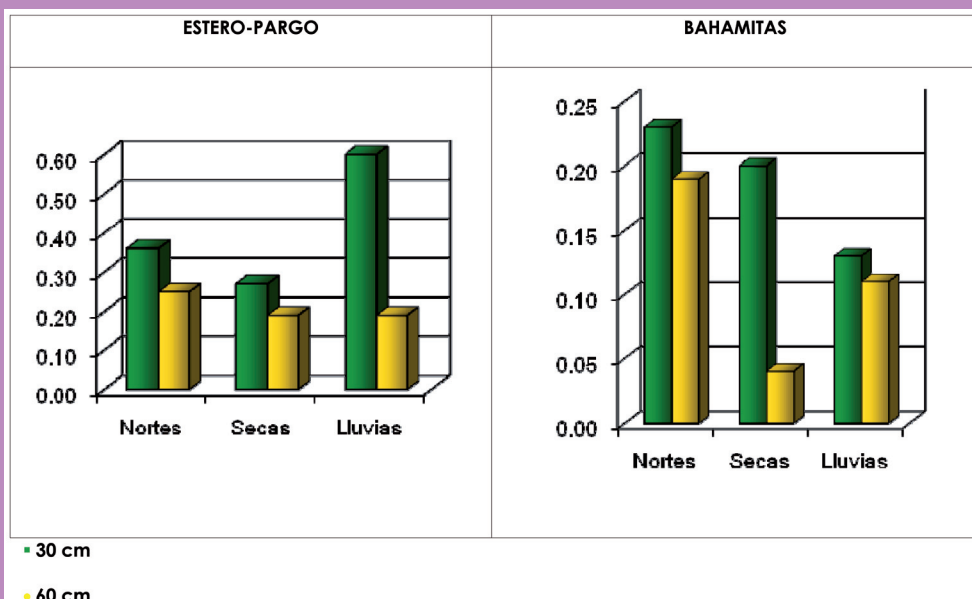


Figura 6. Contenido total de nitrógeno (%) para ambos sitios de muestreo, para cada parcela y para cada periodo climático.

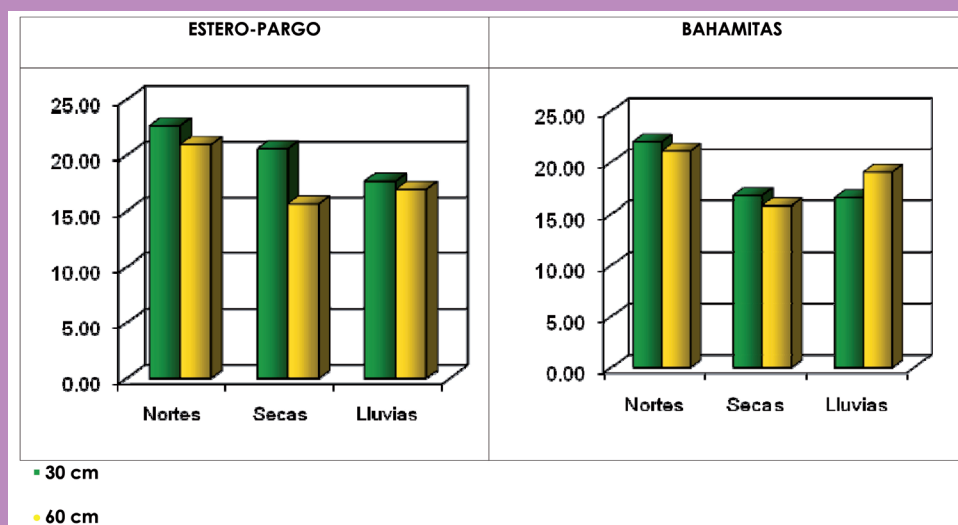


Figura 7. Contenido de material orgánica (%) para ambos sitios de muestreo, para cada parcela y para cada periodo climático.

estadísticas entre los periodos climáticos y las profundidades de muestreo. El contenido de carbono orgánico presentó diferencias estadísticas entre ambos sitios de muestreo. Los valores más altos para el contenido de carbono orgánico fueron encontrados durante la época de Nortes y de Secas (Figura 8).

El contenido de carbono orgánico disminuyó ligeramente conforme incrementó la profundidad, este patrón de distribución de carbono orgánico constituye un fenómeno natural muy común en los bosques (Khan *et al*, 2007). La variación estacional fue en parte la responsable de este fenómeno. Sin embargo, la influencia de las mareas también fue evidente.

Las condiciones anóxicas prevalecientes durante la estación de Nortes, cuando se presentaron lluvias intensas y con la influencia de mareas fue significativa (ambos sitios

de muestreo estuvieron inundados la mayor parte del tiempo), esta condición puede originar los altos contenidos de carbono orgánico encontrados. Por otro lado, durante la estación lluviosa, las fuentes de agua se mezclaron, resultando en concentraciones más bajas de carbono orgánico; mientras que, durante la estación seca, la evapotranspiración incrementó, concentrando las sales y el carbono orgánico disuelto, que son transportados verticalmente junto con el agua durante el proceso de percolación.

El almacenaje de carbono fluctuó entre 10.63 y 37.64 Kg C m⁻² para Estero-Pargo y entre 12.8 y 39.9 Kg C m⁻² para Bahamitas, se puede observar que el almacenaje de carbono fue más alto durante las estaciones de Secas y Nortes para todas las parcelas estudiadas (Figura 9).

Durante la estación seca, las sales y el car-

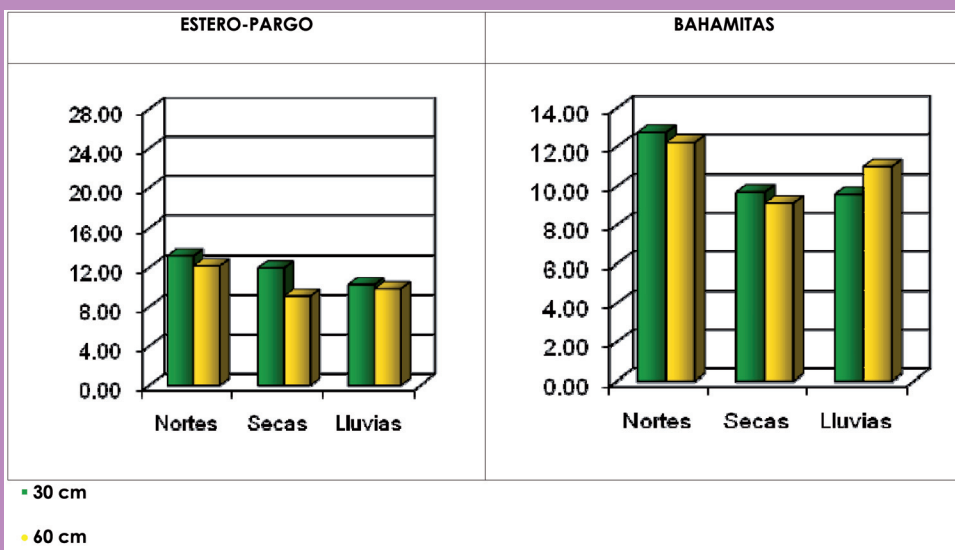


Figura 8. Contenido de carbono orgánico (%) para ambos sitios de muestreo, para cada parcela, y para cada periodo climático.

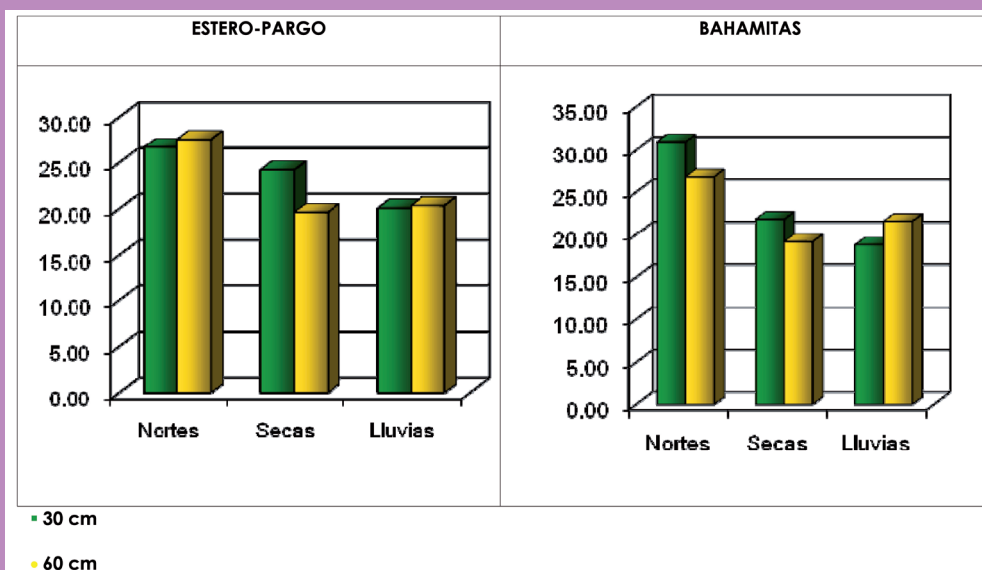


Figura 9. Almacenaje de carbono (Kg C m^{-2}) para ambos sitios de muestreo, para cada parcela, y para cada periodo climático.

bono orgánico disuelto se concentran conforme incrementa la evaporación, mientras que durante la estación lluviosa, el agua de poro fue diluida con el agua de lluvia y agua de escorrentía, resultando en salinidades, densidades y concentraciones de carbono orgánico disuelto más bajas.

Independientemente de la estación del año, en los bosques de manglar, la edad del rodal es un factor determinante que influye sobre la cantidad de carbono orgánico en el suelo. Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los datos de almacenaje de carbono obtenidos en otros sitios (Cuadro 3), se puede sugerir que los suelos arenosos y neutros como los estudiados y con asociaciones de mangle rojo y blanco, tienen un buen potencial de secuestro de carbono. Considerando que los individuos

de mangle presentes en los rodales, son jóvenes en edad reproductiva, se puede esperar que este potencial incremente en los próximos años siempre y cuando reciban un manejo adecuado.

CONCLUSIONES

Durante esta investigación, el área de estudio estuvo sujeta a severos frentes fríos asociados a lluvias intensas y la influencia de mareas en ambos sitios fue significativa. El contenido de materia orgánica y carbono orgánico disminuyó ligeramente con la profundidad de muestreo. El almacenaje de carbono fue más alto durante las temporadas de Nortes y secas. Los dos sitios

Cuadro 3. Comparación de los datos de almacenaje de carbono reportados para otros sitios.

Sitio/Usos de suelo	Almacenaje de carbono (kg C m ⁻²).	Referencias
Gahanna woods, Ohio, USA. Humedales aislados y reforestados.	3.03	Bernal y Mitsch (2008)
Old Woman Creek, Ohio, USA. Humedales ribereños.	2.77	Bernal y Mitsch (2008)
La Selva, Costa Rica. Humedales aislados y reforestados.	0.43	Bernal y Mitsch (2008)
Earth University, Costa Rica. Humedales ribereños.	1.67	Bernal y Mitsch (2008)
Palo Verde, Costa Rica. Humedales ribereños.	1.36	Bernal y Mitsch (2008)
Sur de California, USA. Complejo de humedales estuarinos.	0.033	Brevik y Homburg (2004)
Isla de Okinawa, Japón. Rodal de mangles jóvenes.	5.73	Khan <i>et al</i> (2007)
Tabasco, México. Rodal de mangle rojo y blanco.	47.2-82.2	Moreno <i>et al</i> (2002)
Guatemala, Bosque húmedo.	13.04	Arreaga (2002)
Sureste de Australia Suelos de humedales perturbados.	6.61	Howe <i>et al</i> (2009)
Sureste de Australia Suelos de humedales no perturbados.	11.19	Howe <i>et al</i> (2009)
Sydney, Australia Humedales costeros.	13.9	Webb (2002)
China Tropical y Sub-tropical, vegetación de pantanos.	40.0	Zhong y Qiguo (2001)
Brasil, Oxisoles.	12.0-24.0	Lal (2001)
Brasil, Suelos agrícolas.	2.0-10.0	Rabenhorst y Sawnson (2000)
Campeche, México. Suelos arenosos y neutros, Bosque de manglar en Bahamitas.	23.16	Este estudio
Campeche, México. Suelos arenosos y neutros, Bosque de manglar en Estero-Pargo.	23.08	Este estudio

estudiados estuvieron bajo la influencia de mareas y lluvias intensas, y permanecieron inundados la mayor parte del tiempo. Las condiciones anóxicas prevalecientes, favorecieron la acumulación de materia orgánica y carbono orgánico en los suelos muestreados.

Además, la acumulación de materia orgánica y carbono orgánico fue más alta durante la estación seca, como se esperaba, puesto que durante esta estación la evapo-transpiración concentra las sales y el carbono orgánico disuelto. Por otro lado, el almacenaje de carbono fue más lento durante la estación lluviosa, cuando el agua de poro se diluye con el agua de lluvia y de escorrentía, resultando en valores de carbono orgánico disuelto más bajos. Las parcelas de muestreo, donde el mangle botoncillo es la especie dominante, mostraron valores más bajos de almacenaje de carbono, mientras que las parcelas inundadas la mayor parte del tiempo, con asociaciones de mangle rojo-mangle negro y mangle rojo-mangle blanco, mostraron la tasa de captura de carbono más alta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo de los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Campeche. Proyecto No. 71449. Se agradece al Dr. José del Carmen Zavala Loría y al Dr. Atl Víctor Córdova Quiroz por el apoyo brindado.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreaga, W.E. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 73 p
- Bernal, B. and Mitsch, W.J. 2008. A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio. *Ecological Eng.* 34:311-323.
- Brevik, E. and Homburg, J. 2004. A 500 year record of carbon sequestration from a coastal lagoon and wetland complex, Southern California, USA. *Catena* 57:221-232.
- Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B. and Trettin, C. 2006. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26:889-916.
- Carter, M.R., Burns, L.A., Cavinder, T.R., Dugger, K.R., Fore, P.L., Hicks, D.B., Revells, H.L. and Schmidt, T.W. 1973. Ecosystem analysis of the Big Cypress Swamp and estuaries. U.S. Environmental Protection Agency. Region IV, Atlanta, GA. EPA 904/9-74-002, 450 pp.
- CONABIO. 2008. Manglares de México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México.
- Day, J.W., Conner, W.H., Ley-Lou, F., Day, R.H. and Machado, A. 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Terminos, Mexico. *Aqua. Botany* 27:267-284.
- Etchevers, R.J.D., Monreal, M.C., Hidalgo, M.C., Acosta, M.M., Padilla, C.J., López, R.R.M. 2005. Manual para la determinación de carbono orgánico en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción de ladera. Colegio de Postgraduados. México.
- Gandoy, B.W. 1992. Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México.
- Grossman, R.B. and Reinsch, T.G. 2002. The solid phase: bulk density and linear extensibility. In: *Methods of soil analysis, Part 4-Physical methods*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 201-228.
- Howe, A.J., Rodríguez, J.F., and Saco, P. M. 2009. Surface evolution and carbon sequestration in disturbed and undisturbed wetland soils of the Hunter estuary, southeast Australia. *Estuarine, coastal and shelf science*. 84:75-86.
- Khan, M.N.I., Suwa, R. and Hagihara, A. 2007. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* (S.L.) Yong: Vertical distribution in the soil-vegetation systems. *Wetlands. Ecol. Mang.* 15:141-153.
- Lal, R. 2001. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advan. Agronomy*. 71:145-191.
- Magenheimer, J.F., Moore, T.R., Chmura, G.L. and Daoust, R.J. 1996. Methane and carbon dioxide flux from a macrotidal salt marsh, Bay of Fundy, New Brunswick. *Estuaries* 19:139-145.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. 2000. *Wetlands*. John Wiley & Sons Inc. New York. 920 pp.
- Moreno, E., Guerrero, A., Gutiérrez, M., Orfíz, C., Palma, J. 2002. Los Manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques. Número especial*. 115-128.
- NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002.
- Rabenhorst, M.C. and Swanson, D. 2000. Clasificación of soils: Histosols. E-183:E-208 p. In: Sumner M.E., ed. *Handbook of soil science*. CRC PRESS. Nueva York, EUA.
- Rebolledo, H. 2002. Manual SAS por computadora. Análisis estadístico de datos experimentales. Editorial Trillas. México, D.F.
- Van Reeuwijk, L.P. 2002. Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre and Food and Agriculture Organization of the United Nations. 6th. Technical Paper 9.
- Webb, A. 2002. Pre-clearing Soil Carbon Levels in Australia. National Carbon Accounting System Technical Report No. 12. Australian Greenhouse Office, Canberra, 204 p.
- Xiaonan, D., Xiaoke, W., Lu, Fei. and Zhiyun, O. 2008. Primary evaluation of carbon sequestration potential of wetlands in China. *Acta Ecologica Cínica*. 28(2), 63-469.
- Zhang, H.B., Luo, Y.M., Wong, M.H., Zhao, Q.G. and Zhang, G.L. 2007. Soil organic carbon storage and changes with reduction in agricultural activities in Hong Kong. *Geoderma*. 139, 412-419.
- Zhong, L. and 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.
- Zinn, Y.L., Lala, R. and Resck, D.V.S. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Tillage Res.* 84, 28-40.

Forma correcta de citar este trabajo:

Moreno-May, G. J.; Cerón-Bretón, J. G.; Cerón-Bretón, R.M.; Guerra-Santos, J.J.; Amador del Ángel, L.E. y Endañú-Huerta, E. y 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla del Carmen. U. Tecnociencia 4 (1) 23 - 39.