

EVALUACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LOS MANGLARES DE NAYARIT

ORGANIC CARBON ASSESSMENT IN MANGROVE SOILS OF NAYARIT

Eduardo Valdés Velarde¹, Juan Ignacio Valdez Hernández², Víctor Manuel Ordaz Chaparro³, Juan Fernando Gallardo Lancho⁴,
Joel Pérez Nieto¹ y Ciriaco Ayala Sánchez¹

RESUMEN

Los manglares son un recurso ecológico y económico muy valioso para la reproducción de especies acuáticas y la alimentación de aves, peces, crustáceos, reptiles y mamíferos, además de un reservorio de carbono. En diez asociaciones de manglar y nueve clases de geoformas de la región de Marismas Nacionales, en el estado de Nayarit, se recolectaron un total de 254 muestras compuestas en los primeros -20 cm de suelo, en julio-agosto de 2004, en ellas se determinó el contenido de carbono orgánico (COS) en la fracción mineral, por el método del analizador. En la época de lluvias, los suelos de la clase, de geoforma *Islote* tuvieron el mayor contenido de COS, con $128.5 \text{ t C ha}^{-1}$; mientras que a los de la Barra arcillosa les correspondió el menor con 54.6 t C ha^{-1} ; estas diferencias fueron significativas ($F = 4.02$, $gl = 8$, $p = 0.0003$). Respecto a la asociación de manglar, el valor más alto de COS se estimó para la combinación *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle*, con $106.7 \text{ t C ha}^{-1}$ y más bajo en la de *R. mangle* - *L. racemosa* - *A. germinans*, con 73.7 t C ha^{-1} ; aunque no fueron significativas ($F = 2.28$, $gl = 9$, $p = 0.0204$). De acuerdo con los resultados obtenidos, los manglares de Marismas Nacionales que más contribuyeron al contenido de C en el suelo se encontraron en las geoformas de clase orilla y con predominio de *L. racemosa* y *A. germinans*.

Palabras clave: Asociación de manglar, *Avicennia germinans* L. Stearn, clase de geoforma, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn., Marismas Nacionales, *Rhizophora mangle* L.

ABSTRACT

In 10 mangrove associations and nine landform classes analyzed of the Marismas Nacionales region, state of Nayarit, Mexico a total of 254 soil mixed samples on the first -20 cm were collected, in July and August of 2004, in which the soil organic carbon (SOC) content was determined through the analyzer method. During the rain season, soils in the landform *Islote* showed the highest SOC content with $128.5 \text{ t C ha}^{-1}$ while the *Barra arcillosa* landform the lowest with 54.6 t C ha^{-1} ; these differences were significant ($F = 4.02$, $gl = 8$, $p = 0.0003$); about mangrove association, the highest SOC content was in the *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle* combination with $106.7 \text{ t C ha}^{-1}$ and the lowest in the *R. mangle* - *L. racemosa* - *A. germinans* combination with 73.7 t C ha^{-1} ; these differences were not significant ($F = 2.28$, $gl = 9$, $p = 0.0204$). According with these results, the mangroves of Marismas Nacionales that had a greater contribution to the C content C in soil were in landform it borders and prevalence of *L. racemosa* and *A. germinans*.

Key words: Mangrove association, *Avicennia germinans* L. Stearn, Landform Class, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn., Marismas Nacionales, *Rhizophora mangle* L.

Fecha de recepción: 22 de marzo de 2010.

Fecha de aceptación: 23 de diciembre de 2011.

¹Academia de Ecología. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Correo-e: evaldesv@yahoo.com.mx

²Programa Forestal. Colegio de Postgraduados.

³Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados.

⁴Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca/Colegio Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de Salamanca, España.

INTRODUCCIÓN

Las características químicas del carbono (C) le confieren una gran versatilidad para la construcción de moléculas que forman los componentes básicos de los seres vivos. El ciclo del carbono es uno de los pilares del equilibrio biogeoquímico en cualquier ecosistema y, junto con el ciclo hidrológico, es responsable del mantenimiento ecológico y de las interacciones atmósfera-hidrosfera-litosfera-biosfera (Post *et al.*, 1990; Osnaya, 2003).

El contenido de CO₂ de la atmósfera se aumentó de 270 a 290 ppm durante el siglo XIX, de 315 ppm en 1956 a 335 ppm en 1976 y hasta 379 ppm en 2005 (De la Cruz, 1986; Bravo, 2007). Esta tendencia continúa a una tasa de 1 ppm por año. El balance de carbono (C) es uno de los más importantes en la naturaleza, puesto que determina los flujos de materia orgánica (MO) y, también en gran parte, el de otros bioelementos, como por ejemplo N, P y S. Por lo tanto a partir de ellos es posible controlar el contenido de CO₂ atmosférico (Gallardo y González, 2004). En el Panel Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se ha indicado que el almacenamiento de C por las plantas (también llamado secuestro de C) es una alternativa de bajo costo para reducir el contenido de CO₂ atmosférico.

La información acerca de la captura de C atmosférico mediante la fotosíntesis y el incremento de la productividad primaria en biomasa está, primordialmente, dirigida a ecosistemas forestales y agroforestales. Sin embargo, poco se tiene documentado sobre la eficiencia de dicho proceso en manglares y de su manejo forestal, los cuales representan una oportunidad para el almacenamiento de C. Los suelos de manglar tienen promedios de descomposición de MO bajos y su potencial de almacenamiento de C es alto, por lo que pueden ser una alternativa para tal fin (Ponce-Hernández, 1999; UNFCCC, 2000; Moreno *et al.*, 2002a).

Casi tres cuartas partes del C en los ecosistemas se concentran en el suelo como biomasa de raíces o en formas estables de compuestos orgánicos humificados (Rosenzweig y Hillel, 2000; Gleason y Ewel, 2002; Mitra *et al.*, 2005). Pese a que su estimación no es fácil, es necesaria para entender mejor la distribución e importancia relativa de los depósitos aéreos y subterráneos de C en los ecosistemas terrestres (Acosta *et al.*, 2001; Etchevers *et al.*, 2002).

Según Armentano (1981), desde principios de la década de los años 80 ya se reconocía a los humedales como una fuente importante de C y su contribución clave en el ciclo del mismo. El secuestro de este elemento en los suelos de cenagales es removido regularmente de circulación de la atmósfera por largos periodos, hasta de miles de años. Por ello, este autor ha sugerido que la función de las ciénagas como

INTRODUCTION

The chemical characteristics of carbon (C) give it a great versatility to form molecules for the basis components of living beings. Carbon cycle is one of the mainstays of the biochemical equilibrium of any ecosystem and, in addition to the hydrologic cycle, is responsible of the ecologic maintenance and of the atmosphere-lithosphere-biosphere interactions (Post *et al.*, 1990; Osnaya, 2003).

The CO₂ content of the atmosphere increased from 270 to 290 ppm during the XIX century, from 315 ppm in 1956 to 335 ppm in 1976 and up to 379 ppm in 2005 (De la Cruz, 1986; Bravo, 2007). This tendency keeps a rate of 1 ppm per year. The carbon balance (C) is one the most important in nature, since it determines the organic matter flows (MO) and also, in a great proportion, that of other bioelements such as N, P and S. Thus, taking them as a starting point, it is possible to control the atmospheric CO₂ content (Gallardo and González, 2004). In the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) it has been underlined that the storage of C by plants (also named "carbon sequestration") in a low cost option to reduce O₂ content.

The information about atmospheric C capture through photosynthesis and the increment of primary production in biomass is, mainly, bound to forest and agroforest ecosystems. However, little is documented about the efficiency of such process in mangroves and their forest management, which are an opportunity to store C. Mangrove soils have very low OM decomposition average numbers and its C storage potential is high, which makes them an option for such ending (Ponce-Hernández, 1999; UNFCCC, 2000; Moreno *et al.*, 2002a).

Almost $\frac{3}{4}$ of C in ecosystems is concentrated in soil as root biomass or in stable forms of humusified organic compounds (Rosenzweig and Hillel, 2000; Gleason and Ewel, 2002; Mitra *et al.*, 2005). In spite of the fact that their estimation is not easy, it is necessary to better understand the distribution and relative importance of the aerial and underground C deposits in terrestrial ecosystems (Acosta *et al.*, 2001; Etchevers *et al.*, 2002).

According to Armentano (1981), since the beginning of the 80's humid lands were already acknowledged as an important C source and their contribution as crucial in its cycle. The sequestration of this element in the soil of marshes is regularly removed from the atmospheric circulation for long periods, even thousands of years. Thus, this scientist has suggested that the role of these ecosystems as natural deposits of C helped in the last centuries, to balance the loss of such element, as it was dispersed in the atmosphere, which had their origin in the reduction of the forest mass, as a consequence of human activities over time. Even though these formations do not cover more than 3% of the Earth, they gather great amounts of C that

almacenes naturales de C contribuyó en los últimos siglos a balancear las pérdidas de dicho elemento, por su liberación a la atmósfera, las cuales tuvieron su origen en la reducción de la masa forestal, a consecuencia de las actividades antrópicas a lo largo de la historia. Aunque dichas formaciones no ocupan más del 3% de la extensión total del planeta, contienen grandes cantidades de C que aportarían más que otros sistemas a los intercambios del ciclo global del C (Armentano, 1981).

Los manglares son un recurso ecológico y económico muy valioso, pues ofrecen sitios para la reproducción de varias especies acuáticas y de alimento para aves, peces, crustáceos, reptiles y mamíferos; representan una fuente renovable de madera y son lugares de acumulación de C, nutrientes, sedimentos y contaminantes; además de, que son una barrera protectora contra la erosión costera (Alongi, 2002; Moreno *et al.*, 2002b).

Los bosques de mangles están sujetos a disturbios, directa e indirectamente. El efecto indirecto es quizás el más generalizado y se debe a la urbanización e infraestructura hotelera, así como a las granjas camaroneras. A estas causas se agregan las políticas económicas orientadas hacia la obtención de ganancias a corto plazo, la modificación de la hidrología por desviaciones de los cauces fluviales con fines agrícolas y la sustitución de áreas de manglar por obras de acuicultura (López y Ezcurra, 2002; Valdez, 2002).

A principios de los años 80, Armentano (1981) determinó que 230, 000 ha de manglares en los trópicos habían sido convertidos en estanques piscícolas. Con esa tasa de destrucción, calculó que 86' 250,000 t de C se liberarían en los años subsiguientes, como consecuencia de la exposición de los suelos y el restablecimiento del equilibrio natural. Se estima que después de 10 a 20 años esos depósitos habrían liberado a la atmósfera de cuatro a nueve millones de toneladas de C.

La tasa de liberación de CO₂ de los manglares, y de los humedales, en general, es posible cuantificarla con precisión, si se tienen disponibles los siguientes datos:

- a) El área de humedales o el volumen del sustrato orgánico alterado, drenado o excavado.
- b) La densidad aparente del suelo orgánico.
- c) Las concentraciones de C orgánico del material de sustrato.
- d) La tasa de oxidación de MO por combustión o descomposición natural.

Adicionalmente, se requiere conocer la cantidad de cobertura vegetal removida o reducida para establecer el flujo neto de C en un sitio de manglar dado (De la Cruz, 1986).

would provide more than other systems to the interchange of the global C cycle.

Mangroves are very valuable ecological and economic resources as they offer convenient spaces for the reproduction of several aquatic species as well as to feed birds, fish, crustaceans, reptiles and mammals; they are a renewable source of wood and are deposits for C accumulation, nutrients, sediments and pollutants; also, they act as a protection wall against coast erosion (Alongi, 2002; Moreno *et al.*, 2002b).

Mangrove forests are subject to disturb, directly or indirectly. The indirect effect is the most extended and it is a result of urbanization and hotel infrastructure, as well as shrimp farms. To these causes are added the economic policies bound to obtain short-term profits, the modification of hydrology from river bank deviations with agriculture purposes and the conversion of mangroves into aquaculture works (López and Ezcurra, 2002; Valdez, 2002).

At the beginning of the 80's, Armentano (1981) determined that 230, 000 ha of mangroves in the tropics had been transformed into fish ponds. With that destruction rate, he made a calculation of 86' 250,000 C t would be lost in the following years, as a consequence of the exposure of soils and the re establishment of natural balance. It is presumed that after 10 to 20 years, these deposits would have dispersed to the atmosphere from 4 to 9 million tons of C ((Armentano, 1981).

It is possible to quantify the CO₂ liberation rate of mangroves, and of humid lands, in general, with precision, if the following data are available:

- a) The humid land area or the altered, drained or excavated volume of organic substrate.
- b) The apparent density of organic soil.
- c) The organic C concentrations of the substrate matter.
- d) The OM oxidation rate for combustion or natural decomposition.

Additionally, it is necessary to know the amount of vegetation cover that has been removed or diminished to establish the net C flow in a specific mangrove site (De la Cruz, 1986).

The aim of the actual study was to determine the organic C content in the first -20 cm of soil in the mangroves of Marismas Nacionales, Nayarit State, by mangrove association and geofom class.

El objetivo del presente estudio fue determinar el contenido de C orgánico en los primeros -20 cm del suelo en los manglares de Marismas Nacionales, Nayarit, por asociación de manglar y clase de geoforma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se localiza en la planicie costera del Pacífico, hacia la parte NO del estado de Nayarit, entre los 21° 56' y 22° 15' N, y los 105° 19' y 105° 39' O y ocupa gran parte de la región conocida como Marismas Nacionales (Figura 1). El área de estudio muestreada (23,596 ha) forma parte de los municipios de Rosamorada, Santiago Ixcuintla, Tecuala y Tuxpan; el tipo de clima predominante es $A_{w}(w)(i)$: cálido subhúmedo con temperatura media anual mayor a 22 °C y precipitación media anual de 1,000 y 1,500 mm (García, 2004).

La región de Marismas Nacionales posee suelos poco evolucionados, de aporte coluvial-marino no consolidado, con erosionabilidad moderada, salinización o sodificación (IUSS Working Group WRB, 2006). Bojórquez *et al.* (2008) identificaron en esta región como principales suelos a los Cambisoles, Fluvisoles, Feozems, Gleysols, Regosols, Arenosols y Solonchaks y para la llanura de inundación mareal, en las barras paralelas, playas y dunas costeras son los Solonchaks, Regosols y Arenosols. El IUSS Working Group WRB (2006) confirmó que los suelos que se distribuyen más ampliamente en la zona Cambisol crómico (72%) y Feozem háplico (28%), con más del 15% de saturación de sodio en alguna porción situada a menos de -125 cm de profundidad y una clase textural fina en los -30 cm superficiales (INEGI, 2002).

El tipo de vegetación dominante corresponde al manglar, que está conformado por las especies: *Avicennia germinans* L. Stearn, conocido como "puyequé", árbol de hasta 25 m de altura cuya madera se aprovecha localmente en la construcción de casas (soleras, colgados); *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. o "mangle", que supera los 30 m de altura, su madera se utiliza con fines comerciales en la fabricación de galeras para el secado de tabaco y *Rhizophora mangle* L. o "candelón", que alcanza 25 m de altura y su madera se usa en la región para construir casas (soleras, cadenas) (Valdez, 2002; Valdez, 2004).

Obtención y preparación de muestras

De julio a agosto de 2004 se establecieron 88 unidades de muestreo (UM) de 300 m² (30 × 10 m), cada una de ellas con tres subunidades de muestreo (SUM) de 100 m² (10 × 10 m) (Valdez, 2002). En el centro de las SUM se sacó una muestra de suelo, a una profundidad de 0 a 20 cm, para un total de 264 (Acosta *et al.*, 2001).

MATERIALS AND METHODS

Study area

It is found in the coastal plains of the Pacific Ocean, to the northwest of Nayarit State, between 21° 56' and 22° 15' N, and 105° 19' and 105° 39' W and covers great part of the region know as Marismas Nacionales (Figure 1). The study area that was sampled (23, 596 ha) belongs to Rosamorada, Santiago Ixcuintla, Tecuala and Tuxpan municipalities; the kind of climate that prevails is $A_{w}(w)(i)$: warm sub-humid with annual average temperature over 22 °C and annual average precipitation of 1,000 and 1,500 mm (García, 2004).

Marismas Nacionales region has a few poorly evolved soils, of semi- consolidated coluvial-marine supply with medium erodability, salinisation or sodification (IUSS Working Group WRB, 2006). Bojórquez *et al.* (2008) found Cambisols, Fluvisols, Feozems, Gleysols, Regosols, Arenosols and Solonchaks as the main types of soils in this region and for the marine floods moorland, parallel bars, beaches and coastal dunes, Solonchaks, Regosols and Arenosols. The IUSS Working Group WRB (2006) confirmed that the soils that are distributed at great extent are chromic Cambisol (72%) and haplic Feozem (28%), with more than 15% of sodium saturation in some fraction located at -125 cm deep and a fine texture class in the -30 cm (INEGI, 2002).

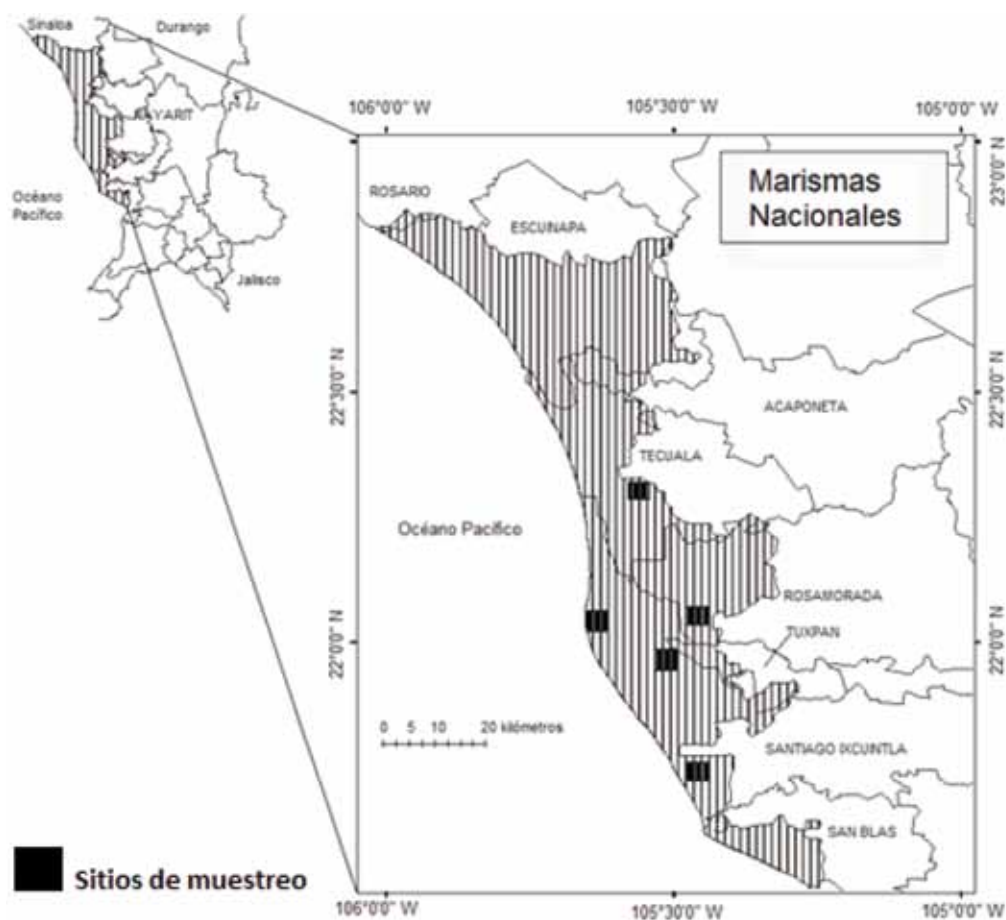
The type of dominant vegetation is mangrove, that is the made up by *Avicennia germinans* L. Stearn, known as "puyequé", tree up to 25 m high; its wood is locally used in house building ("soleras", "colgados"); *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. or "mangle", tree over 30 m tall; its wood is used with commercial purposes in making the structures to dry tobacco and *Rhizophora mangle* L. or "candelón", that can measure 25 m high and its wood is used in the region as building material ("soleras", chains) (Valdez, 2002; Valdez, 2004).

Procurement and sample preparation

From July to August, 2004, 88 sampling units were established (UM) of 300 m² (30 × 10 m), with three sampling subunits (SUM) of 100 m² (10 × 10 m) each (Valdez, 2002). At the center of every SUM, a soil sample was taken from 0 to 20 cm deep, with a total number of 264 (Acosta *et al.*, 2001).

Also, apparent density (Da) was determined by a cylindrical drill at 0 to 20 cm deep (Porta *et al.*, 2003).

To quantify edaphic C, the 264 samples taken from the soil were dried at room temperature and weighed; afterwards, slow combustion of OM by heat at 750 °C (USDA, 1973) was applied to be weighed once more. That is, the amount of OM of the soil (MOS) was obtained; to calculate the organic



Fuente: RHARAP, 2008.
Source: RHARAP, 2008.

Figura 1. Área de estudio con los sitios de muestreo en Marismas Nacionales, Nayarit.
Figure 1. Study area with the sampling sites at Marismas Nacionales, Nayarit State.

Además, se determinó la densidad aparente (D_a) mediante una barrena cilíndrica a una profundidad de 0 a 20 cm (Porta *et al.*, 2003).

Para cuantificar el C edáfico, las 264 muestras de suelo extraídas fueron secadas a temperatura ambiente y pesadas; a continuación se aplicó una combustión lenta de la MO por calentamiento a 750 °C (USDA, 1973) y se volvieron a pesar. Es decir, se obtuvo la cantidad de MO del suelo (MOS); para calcular el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) ese valor se dividió entre 1.74. Por último se hizo la conversión a toneladas de carbono por hectárea.

Todos los datos procedieron de la misma profundidad del suelo (0 a 20 cm) y se analizaron considerando las 10 asociaciones de manglar y nueve clases de geoforma existentes en los sitios de muestreo.

Las asociaciones de manglar son combinaciones de las tres especies antes citadas (Valdez, 2004), y se hace referencia a ellas de la siguiente manera: A = *A. germinans*, L = *L. racemosa*

carbon content in soil (COS) that value was divided into 1.74. Finally, a transformation of carbon tons per hectare was made.

All of the data came from the same soil depth (0 to 20 cm) and were analyzed considering the 10 mangrove associations and nine geoform classes present in the sampling site.

Mangrove associations are combinations of the three previously quoted species (Valdez, 2004), and are referred to as: A = *A. germinans*, L = *L. racemosa* and R = *R. mangle* if they are dominant; with the same letters but small (a, l, r), when they are not. For example, a "lra" key means prevalence of *L. racemosa* over *R. mangle*, and of the latter over *A. germinans*.

Geoform classes are different coastal landscape morphologies with mangrove (Bird, 2003) and the following were detected: Bra = Loamy bar, Bar = Sandy bar, Cnp = Non-marsh basin, Cpt = Marsh basin, Isa = Island, Ise = Islet, Orc = Channel edge, Orl = Lagoon edge, Orr = River bank (Figure 2).

y R = *R. mangle*, si son dominantes; se indican con las mismas letras, pero en minúsculas (a, l, r), cuando no lo son. Por ejemplo, una clave "Lra" significará predominancia de *L. racemosa* sobre *R. mangle* y de esta última sobre *A. germinans*.

Las clases de geoforma son distintas morfologías del paisaje costero con presencia de manglar (Bird, 2003) y se identificaron las siguientes: Bra = Barra arcillosa, Bar = Barra arenosa, Cnp = Cuenca no pantanosa, Cpt = Cuenca pantanosa, Isa = Isla, lse = Islote, Orc = Orilla de canal, Orl = Orilla de laguna, Orr = Orilla de río (Figura 2).

Con la finalidad de reconocer otras relaciones estadísticas significativas, se formaron combinaciones de clases de geoforma: Barras ("B"), Cuencas ("C"), Islas ("I") y Orillas ("O"); así como, combinaciones de asociaciones de manglar: manglares con predominancia del género *Avicennia* ("A"), de *Laguncularia* ("L") y de *Rhizophora* ("R").

Análisis estadístico

La identificación de las clases de geoformas y asociaciones de manglar se hizo mediante polígonos con el programa ArcView GIS versión 3.2 (ESRI, 1999); además, para distinguir texturas y tonos de grises se usaron ortofotos digitales escala 1:20,000 (INEGI, 2005) del área de estudio (Figura 2).

Los análisis estadísticos y los datos de laboratorio y gabinete se llevaron a cabo con los programas Minitab 14 (MINITAB, 2003) y SAS (SAS, 1999) e incluyeron los que se enlistan a continuación (Rebolledo, 1999; Infante y Zárate, 2003):

- a) Pruebas de normalidad para identificar el grado de heterogeneidad u homogeneidad de los datos, mediante el uso sistemático de la prueba de residuales.
- b) Análisis de varianza (ANOVA) con niveles de significancia < 0.05 o mejores.
- c) Pruebas de medias (Tukey) para identificar posibles diferencias significativas entre grupos (clases de geoforma y asociaciones de manglar).

En principio se obtuvieron 264 datos, de los que se eliminaron 10 atípicos que, según la prueba de residuales, no contribuyeron de forma significativa al modelo analizado ($p > 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

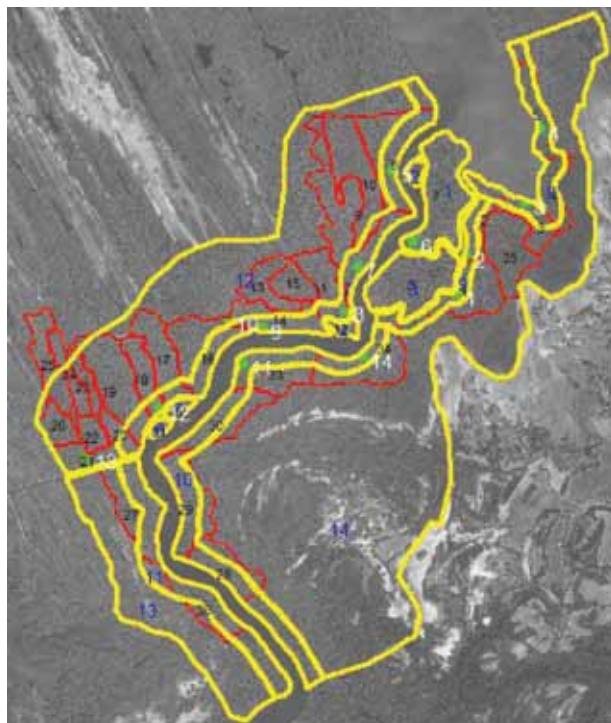
Las nueve clases de geoforma y las 10 asociaciones de manglar se muestran en el Cuadro 1, y en el Cuadro 2 se agrupan las cuatro clases principales de geoforma y tres asociaciones de manglar.

El potencial para el secuestro de carbono (C) en los trópicos húmedos radica en la biomasa aérea, no en el suelo (Palm *et al.*, 2000; Van Noordwijk *et al.*, 1997). Sin

In order to find different statistical relations, combinations of geoforms were formed: Bars ("B"), Basins ("C"), Islands ("I") and Edges ("O"), as well as combinations of mangrove associations: mangroves where *Avicennia* genus prevailed ("A"), where *Laguncularia* ("L") prevailed or *Rhizophora* ("R") did.

Statistical Analysis

The identification of geoform classes and mangrove associations was made by polygons with the 3.2 ArcView GIS program (ESRI, 1999); to detect textures and grey tones, 1:20,000 digital orthophotos of the study area were used (INEGI, 2005) (Figure 2).



Fuente: INEGI, 2005.
Source: INEGI, 2005.

Figura 2. Ejemplo de delimitación de clases de geoforma (polígonos color claro) y asociaciones de manglar (polígonos color oscuro).

Figure 2. Example of the geoform classes demarcation (light color polygons) and mangrove associations

Statistical analysis and laboratory and office data were carried out with the following programs Minitab 14 (MINITAB, 2003) and SAS (SAS, 1999), which included the following (Rebolledo, 1999; Infante and Zárate, 2003):

- a) Normality tests to identify the heterogeneity or homogeneity degree of the data by the systematic use of residuals test.
- b) Analysis of variance (ANOVA) with < 0.05 significance levels or better.
- c) Mean tests (Tukey) to identify the possible significant differences among groups (geoform classes and mangrove associations).

embargo, en el caso de los humedales, y en particular de los manglares, el C edáfico almacenado es de gran trascendencia, si se considera la enorme cantidad que se libera cuando son destruidos por cambio de uso. De la Cruz (1986) afirma que esta cifra puede ser de alrededor de 375 t C ha⁻¹ de la capa edáfica de un manglar, cuando es deforestado y excavado para construir estanques acuícolas.

Cuadro 1. Contenido promedio de carbono orgánico del suelo (COS) (t ha⁻¹) por clase de geoforma y asociación de manglar (año 2004).

Table 1. Average organic soil carbon content (COS) (t ha⁻¹) by geoform class and mangrove association (2004 year).

Clase de geoforma ¹			
Descripción	Clave	COS (t ha ⁻¹)	N
Barra arenosa	Bar	61.1 (c)	6
Barra arcillosa	Bra	54.6 (c)	6
Orilla de laguna	Orl	85.3 (abc)	59
Orilla de río	Orr	97.9 (abc)	84
Orilla de canal	Orc	75.3 (bc)	29
Isla	Isa	117.6 (ab)	6
Islote	Ise	128.5 (a)	6
Cuenca pantanosa	Cpt	85.7 (abc)	27
Cuenca no pantanosa	Cnp	91.8 (abc)	31

Asociación de manglar ²			
Descripción	Clave	COS (t ha ⁻¹)	N
<i>A. germinans</i> con <i>L. racemosa</i>	Al	80.0 (a)	46
<i>A. germinans</i> con <i>L. racemosa</i> y <i>R. mangle</i>	Alr	85.4 (a)	27
<i>L. racemosa</i>	L	100.3 (a)	7
<i>L. racemosa</i> con <i>A. germinans</i>	La	94.4 (a)	47
<i>L. racemosa</i> con <i>A. germinans</i> y <i>R. mangle</i>	Lar	89.5 (a)	33
<i>L. racemosa</i> con <i>R. mangle</i>	Lr	106.7 (a)	19
<i>L. racemosa</i> con <i>R. mangle</i> y <i>A. germinans</i>	Lra	102.7 (a)	30
<i>R. mangle</i> con <i>A. germinans</i> y <i>L. racemosa</i>	Ral	94.4 (a)	6
<i>R. mangle</i> y <i>L. racemosa</i>	RI	85.3 (a)	13
<i>R. mangle</i> con <i>L. racemosa</i> y <i>A. germinans</i>	RIa	73.7 (a)	26

Las clases de geoforma están ordenadas mar-tierra adentro.

²Las asociaciones de manglar están ordenados alfabéticamente.

N = Cantidad de muestras

Medias seguidas con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, p < 0.05) entre hileras.

¹Geoform classes are ordered in a sea-inland distribution

²Mangrove associations follow an alphabetical order.

N = Sample number

Means followed by different letters show significant differences (Tukey, p < 0.05) between row

At first, 264 data were obtained, from which 10 were eliminated, since, according to the residuals test, made no significant contribution to the analyzed model (p > 0.05).

RESULTS AND DISCUSSION

The nine geoform classes and the 10 mangrove classes are shown in Table 1 and in Table 2 are grouped the four main geoform classes and three mangrove associations.

The potential for carbon sequestration (C) in the humid tropics lies in aerial biomass, not in the soil (Palm *et al.*, 2000; Van Noordwijk *et al.*, 1997). However, in the case of wetlands, and particularly mangroves, the stored edaphic C is very important, if it is taken into account the great amount that is released when they are destructed by land use change. De la Cruz (1986) states that that number may be around 375 t C ha⁻¹ of the edaphic layer of a mangrove, when it is deforested and dug out to build fish-tanks.

The Islote geoform class (Ise) has a significantly higher COS content (F = 4.02, gl = 8, p < 0.05) than the Sandy bar (Bar) and Loamy bar (Bra) classes, but from the statistical view point, it was the same (p > 0.05) than the Island (Isa) class (Table 1, Figure 3).

The geoform classes grouped into Islands were significant (F = 2.26, df = 4, p < 0.05) in regard to the higher average COS contents than the Edges, Basins and Bar groups (Table 2).

Cuadro 2. Contenido promedio de carbono orgánico del suelo (t ha⁻¹) por combinación de clase de geoforma y asociación de manglar.

Table 2. Average organic soil carbon content (COS) (t ha⁻¹) by a combination of geoform class and mangrove association.

Clase de geoforma (combinada) ¹			
Descripción	Clave	COS (t ha ⁻¹)	N
Barra	B	57.9 ^a	12
Orilla	O	91.0 ^b	172
Isla	I	125.9 ^a	12
Cuenca	C	85.7 ^b	58

Asociación de manglar (combinado) ²			
Especie predominante	Clave	COS (t ha ⁻¹)	N
<i>A. germinans</i>	A	81.4 ^b	73
<i>L. racemosa</i>	L	96.6 ^a	136
<i>R. mangle</i>	R	81.5 ^b	45

¹Las clases de geoforma están ordenadas mar-tierra adentro.

²Las asociaciones de manglar están ordenados alfabéticamente.

N = Cantidad de muestras.

Medias seguidas con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, p < 0.05) entre hileras.

¹Geoform classes are ordered in a sea-inland distribution

²Mangrove associations follow an alphabetical order.

N = Sample number

Means followed by different letters show significant differences (Tukey, p < 0.05) between rows.

La clase de geoforma "Islote" (Ise) tuvo un contenido de COS significativamente ($F = 4.02$, $gl = 8$, $p < 0.05$) mayor que las clases "Barra arenosa" (Bar) y "Barra arcillosa" (Bra), pero desde el punto de vista estadístico igual ($p > 0.05$) que la clase "Isla" (Isa) (Cuadro 1, Figura 3).

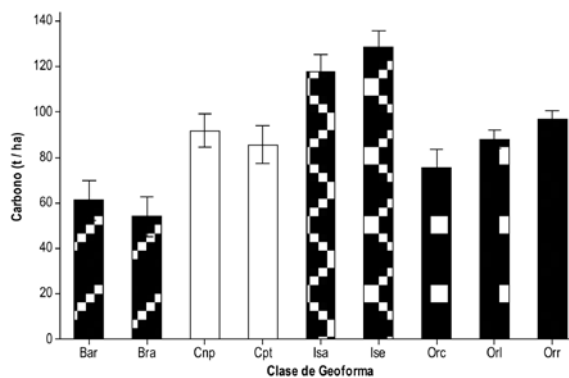
Las clases de geoforma agrupadas en "Islas" tuvieron significancia ($F = 2.26$, $gl = 4$, $p < 0.05$) respecto a los mayores contenidos promedio de COS, que los grupos "Orillas", "Cuencas" y "Barras" (Cuadro 2).

Para las asociaciones de manglar *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle* (Lr.) se observó un contenido promedio de COS con significancia ($F = 2.28$, $gl = 9$, $p < 0.0204$) mayor que las asociaciones *Avicennia germinans* - *L. racemosa* (Al.) y *R. mangle* - *L. racemosa* - *A. germinans* (Rla.), (Lra.) y *L. racemosa* (L.) (Figura 4).

En los manglares de Nayarit, los contenidos más altos en promedio de COS estuvieron en las geoformas Isla e Islote (117.6 y 128.5 t C ha⁻¹, respectivamente), en respuesta al alto contenido arcilloso del suelo y a la acumulación importante de MO procedente de las hojas de *R. mangle*, en mayor medida, especie predominante en orillas de ríos y lagunas y que posee menor tasa de descomposición de la hojarasca, en comparación con otros taxa de mangle (Yáñez-Arcebea *et al.*, 1998). Fujimoto (2000) determinó que los bosques de *R. mangle* son mejores para capturar C, que los bosques con diferente composición.

La clase de geoforma está relacionada también con el mayor contenido de COS, pues al tratarse de una superficie de tamaño moderado, rodeada de canales por un lado y de la laguna o el estero por el otro, es influenciada por una hidrología que favorece el acarreo y acumulación de MO. Pool *et al.* (1975) reconocieron que los manglares más productivos son los de estuarios mejor protegidos y alimentados en forma más regular por corrientes suaves, en oposición a los de la costa en los que se presentan corrientes de agua más fuertes y sedimentos más inestables. Fujimoto (2000) confirmó concentraciones superiores de C (39 y 49 kg m⁻²) en geoformas de deltas pequeños y estuarios que en mega deltas o cuencas (27 y 33 kg m⁻²). Existen muchas condiciones que pueden controlar o determinar la productividad y diversidad en estas asociaciones vegetales, entre ellas el clima, la geomorfología, rango de mareas, entrada de agua dulce y otros factores (Pool *et al.*, 1975). Por lo tanto, es sorprendente que las características edáficas de las mismas hayan recibido, relativamente, poca atención de los investigadores hasta el momento.

En el presente trabajo, las geoformas orilla y cuenca no tuvieron los valores más altos de COS, pero su importancia radica en que son las zonas con aprovechamiento forestal más intenso en la región y están amenazadas por el cambio de uso del suelo para infraestructura turística o acuicultura.



Las líneas en las barras indican el error estándar.
The lines in the bars refer to standard error.

Figura 3. Contenido promedio de carbono orgánico del suelo por clase de geoforma.

Figure 3. Average organic soil carbon content by geoform class

For the *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle* (Lr.) was observed a higher significant average organic soil carbon content (COS) ($F = 2.28$, $gl = 9$, $p < 0.0204$) than that of the *Avicennia germinans* - *L. racemosa* (Al.) and *R. mangle* - *L. racemosa* - *A. germinans* (Rla.) associations, but in the statistical scope, it is the same ($p > 0.05$) as that of *L. racemosa* - *R. mangle* - *A. germinans* (Lra.) and *L. racemosa* (L.) (Figura 4).

In the mangroves of Nayarit State, the higher average COS contents were in the Island and Islet geoforms (117.6 and 128.5 t C ha⁻¹, respectively), as a response to the high loam content in soils and the important accumulation of OM that comes, mainly, from *R. mangle* leaves, which is the dominant species at river banks and lagoons, and that have the least decomposition rate of litter, compared to other mangrove taxa (Yáñez-Arcebea *et al.*, 1998). Fujimoto (2000) determined that *R. mangle* forests are better to capture C than forests with different composition.

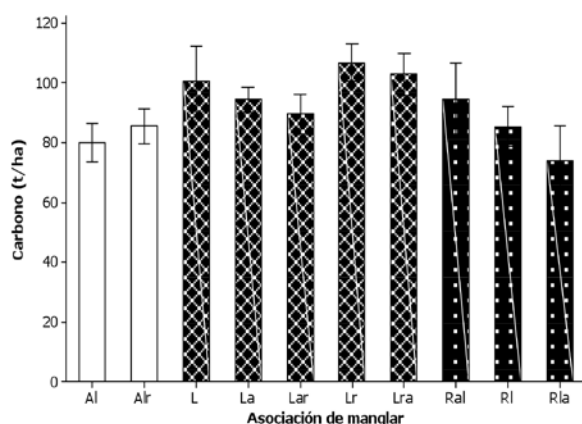
Geoform class is related, as well, with the greatest COS content, since it is affected by hydrology that favors OM dragging and accumulation, as it is a medium size area surrounded by channels and lagoons or estuaries. Pool *et al.* (1975) acknowledged that the most productive mangroves are the best protected estuaries and more regularly fed by soft currents, in contrast to those of the coast in which stronger currents occur and sediments are more unstable. Fujimoto (2000) confirmed higher C concentrations (39 and 49 kg m⁻²) in geoforms of small deltas and estuaries that in mega deltas or basins (27 and 33 kg m⁻²). There are many conditions that may control or determine productivity and diversity of vegetal associations, such as climate, geomorphology, tide range, fresh water and other factors (Pool *et al.*, 1975). Thus, it is surprising that their edaphic characteristics have received a rather poor attention from scientific researchers up to now.

En particular, la clase de geoforma "Orilla de río" (Orr) está destinada a la protección de cauces (Valdez, 2004), lo cual señala su papel ecológico en la retención de C en el suelo.

El contenido promedio de COS, en general, fue más alto en manglares con predominio de *L. racemosa* (Figura 4), que parece contradecir lo planteado por Betoulle *et al.*, (2001), quienes determinaron mayor contenido de CO en mantillo de *A. germinans* y *R. mangle*, que en *L. racemosa*. Probablemente, el contenido más grande de COS en las asociaciones de manglar donde dominaba *L. racemosa* se deba a que estas se ubicaron, por lo regular, en las geoformas de orillas, posición que se favoreció por el régimen hidrológico de corrientes suaves (Pool *et al.*, 1975).

Los manglares con predominancia de *L. racemosa*, en especial aquellos con presencia de *A. germinans*, y que tuvieron los más altos contenidos de COS son los más amenazados por futuros cambios en uso de suelo para la región de Marismas Nacionales. Por ello, es necesario continuar con la elaboración de planes de manejo a escala local que permitan un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Valdez, 2004).

Los manglares de Nayarit tuvieron un contenido de COS de $89,7 \text{ t C ha}^{-1}$ superior a lo que se conoce en manglares templados de Japón, que fue de 57 t C ha^{-1} (Khan *et al.*, 2007) en una profundidad similar de muestreo, pero menor contenido que en otros de tipo tropical de México y del mundo, como en Tabasco, con 132 t C ha^{-1} (Moreno *et al.*, 2002a), Micronesia con 97 t C ha^{-1} (Fujimoto *et al.*, 1999) y Senegal con 91 t C ha^{-1} (Woomer *et al.*, 2004).



Las líneas en las barras indican el error estándar.
The lines in the bars refer to standard error.

Figura 4. Carbono orgánico del suelo por asociación de manglar.

Figure 4. Soil organic carbon by mangrove association

In the actual work, Edge and Basin geoforms did not get the highest COS values, but they are important as they are the most intense harvested forest zones of the region and they are threatened by land use change for tourism or aquaculture infrastructure. The River bank geform class (Orr) in particular, is intended to protect the river beds (Valdez, 2004), which appoints an ecological role in soil C retention.

Average COS content, in general, was higher in mangroves where *L. racemosa* prevails (Figure 4), which seems to be contrary to Betoulle *et al.* (2001), who determined a higher CO content in the litter of *A. germinans* and *R. mangle* over *L. racemosa*. Probably, the great COS content in the mangrove associations where *L. racemosa* dominated is due to the place where they were located, as they were regularly in the Edge geoforms, which were favored by the light currents regime (Pool *et al.*, 1975).

Mangroves where *L. racemosa* prevails, especially those with *A. germinans*, and that had the highest COS contents, are the most threatened by future changes in land use for the Marismas Nacionales regions. Thus, it is necessary to continue with local management plans that allow the sustainable use of natural resource (Valdez, 2004).

The mangroves of Nayarit had a COS content of $89,7 \text{ t C ha}^{-1}$ which is over the records of Japan, 57 t C ha^{-1} (Khan *et al.*, 2007) at a similar sampling depth, but lower than in other tropical soils of Mexico as Tabasco with 132 t C ha^{-1} (Moreno *et al.*, 2002a); and other parts of the world, like Micronesia with 97 t C ha^{-1} (Fujimoto *et al.*, 1999) and Senegal with 91 t C ha^{-1} (Woomer *et al.*, 2004).

In terms of per cent, in the mangrove forests of Nayarit, more COS (7%) was estimated than what Fujimoto (2000) determined in Vietnam (3%), Sukardjo (1994) in Indonesia (4%) and Van Noordwijk *et al.* (1997) in wetlands of Sumatra (6%); but lower than those described by Boto and Wellington (1984) in mangrove of Northern Australia (8%), Betoulle *et al.* (2001) in the French Guyana (33%) and Khan *et al.* (2007) in Japan (47%).

With the same sampling depth (0 a 20 cm) and compared to other natural tropical systems, in the studied mangroves was found a lower amount of COS than what Callo-Concha *et al.* (2001) determined in a primary forest of the Peruvian Amazonia (99 t C ha^{-1}), and in a grassland of the same region (93 t C ha^{-1}). When the studied mangroves of Nayarit State were measured against the natural subtropical forest of the alluvial plains of Bajo Paraná, Argentina, Aceñolaza *et al.* (2008) determined high COS concentrations in *Salix humboldtiana* Willd. forests (93 t C ha^{-1}), but lower than 34 t C ha^{-1} in *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pavón forests and 33 t C ha^{-1} in *Albizia inundata* (Mart.) Barneby & J. W. Grimes forests.

En porcentaje, en los bosques nayaritas de mangle se estimó más COS (7%) que lo calculado por Fujimoto (2000) en Vietnam (3%), Sukardjo (1994) en Indonesia (4%), y Van Noordwijk *et al.* (1997) en humedales de Sumatra (6%); pero menor que lo descrito por Boto y Wellington (1984) en manglares del norte de Australia (8%), Betouille *et al.* (2001) en Guyana Francesa (33%) y Khan *et al.* (2007) en Japón (47%).

Con la misma profundidad de muestreo (0 a 20 cm) y en comparación con otros sistemas naturales tropicales, en los manglares estudiados se obtuvo menor cantidad de COS que lo determinado por Callo-Concha *et al.* (2001) en un bosque primario de la Amazonia Peruana, con 99 t C ha^{-1} y en un pastizal de la misma región, con 93 t C ha^{-1} . Al confrontar los manglares de Nayarit con los bosques naturales subtropicales de la llanura aluvial de Bajo Paraná en Argentina, Aceñolaza *et al.* (2008) cuantificaron concentraciones altas de COS, con 93 t C ha^{-1} en bosques de sauce (*Salix humboldtiana* Willd.), pero menor a 34 t C ha^{-1} en bosques de aliso del río (*Tessaria integrifolia* Ruiz & Pavón) y en bosques de timbó blanco (*Albizia inundata* (Mart.) Barneby & J. W. Grimes) con 33 t C ha^{-1} .

A partir del intervalo promedio de contenido de COS surgido de este trabajo, así como la superficie total de la región de Marismas Nacionales en el estado de Nayarit (3,876,873 ha) (CONABIO, 2008) se estimaron de 81.8 a 89.7 t C ha^{-1} totales en los primeros 20 cm del suelo. Por lo tanto, es evidente que los suelos de los manglares de Nayarit contienen cantidades notables de COS, lo cual representa un gran valor natural y juega un rol significativo en el ciclo del C a escala local.

A pesar de que la biomasa aérea de cualquier bosque posee mayor potencial para la captura de C, el suelo ejerce un papel clave en la regulación de su balance y ciclo. La trascendencia de lo anterior se acentúa en el caso de los humedales, en particular de los manglares, donde las condiciones de anaerobiosis por efecto de la inundación parcial o total, permanente o intermitente retardan la descomposición de la MO, que a su vez evita la liberación del C a la atmósfera y lo conserva atrapado en el suelo, incluso por milenios. Es por ello, que la deforestación de un manglar por cambio de uso de suelo con fines, por ejemplo, turísticos o de producción acuícola comercial, libera grandes cantidades de C a la atmósfera.

CONCLUSIONES

Los suelos en las clases de geoforma combinadas de Isla tuvieron valores superiores de COS con 125.9 t ha^{-1} , seguidos de los suelos en las geoformas de Cuencas y Orillas con 85.7 y 91.0 t ha^{-1} , respectivamente; mientras que, en las geoformas de Barras se estimaron los contenidos menores (57.9 t ha^{-1}). Sin embargo, debe centrarse la mayor atención en las clases de geoformas de Orilla, dado que son las más vulnerables por estar en contacto directo con los cambios de regímenes hidrológicos diarios (intermareales) y estacionales

From the COS average content interval from this work as well as the total area of the Marismas Nacionales region in Nayarit State (3,876,873 ha) (CONABIO, 2008), 81.8 to 89.7 t C ha^{-1} were calculated for the first 20 cm of soil depth. Therefore, it is evident that the soils of the mangroves of Nayarit have remarkable amounts of COS, which has a great natural value and plays a significant role in the C cycle at a local scale.

In spite of the fact that the aerial biomass of any forest has a greater potential for C sequestration, soil plays a crucial role in its balance and cycle regulation. The relevance of the former statement is emphasized in wetlands, mangroves in particular, where anaerobic conditions from the partial or total flooding, permanent or intermittent, delay OM decomposition, which avoid C release to the atmosphere and keeps it trapped in the soils, even for millennia. Thus, mangrove deforestation from land use change with tourism or commercial fish production, for example, releases great C amounts to the atmosphere.

CONCLUSIONS

The soils in the geoform classes with the Island combination reported COS 125.9 t ha^{-1} followed by the soils in the Basins (85.7 t ha^{-1}) and Edges (91.0 t ha^{-1}) geoforms, while in the Bars geoforms contents were lower (57.9 t ha^{-1}). However, the greatest attention must be focused on the Edge geoforms, since they are the most vulnerable as they are in direct contact with daily (intertidal) or seasonable (rains and droughts) hydrologic changes as well as for being where the most intense activities of wood harvest take place.

In regard to the mangrove associations, the highest COS content was confirmed in the *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle* (106.7 t ha^{-1}) combination, and the lowest in *R. mangle* - *L. racemosa* - *A. germinans* (73.7 t ha^{-1}). In general, in the concentrated mangrove associations where *L. racemosa* prevails, the maximal COS contents (96.6 t ha^{-1}) were found. Since this mangrove association is more frequent in the Edge geoforms, it is concluded that in the management and conservation plans for mangroves of Marismas Nacionales, the conservation of the Edge geoforms, in particular where this species dominates, must be considered a priority.

Compared to other mangroves of Mexico and the world, the soils of Marismas Nacionales confirmed to be essential as COS storage, with values near to those of Histosols. The mangroves of Nayarit rank as one of the richest of planet Earth in terms of their CO regulatory function in nature, as they have a greater ability to store huge volumes of C in the soil, than other world-famous ecosystems for their OM content, such as grasslands and tropical forests.

(lluvias y sequía), y por ser, en ellas, donde se desarrolla la actividad más intensa de aprovechamiento maderero.

Respecto a las asociaciones de manglar, el contenido de COS más alto se verificó en la combinación *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle* (106.7 t ha^{-1}) y el menor en la de *R. mangle* - *L. racemosa* - *A. germinans* (73.7 t ha^{-1}). En general, las asociaciones de manglar concentradas con predominancia de *L. racemosa* registraron los mayores contenidos de COS, con 96.6 t ha^{-1} . Dado que esta asociación de manglares es más frecuente en las geoformas de Orilla, se concluye que los planes de manejo y conservación orientados a los manglares de Marismas Nacionales deben considerar como prioritaria la preservación de estas geoformas, en particular aquellas donde domine dicha especie.

En comparación con otros manglares de México y del mundo, los suelos de los de Marismas Nacionales demostraron ser fundamentales como almacenadores de COS, con valores cercanos a los de Histosoles. Los manglares de Nayarit figuran entre los biomas más ricos del planeta, en cuanto a su función reguladora del CO en la naturaleza, por tener mayor capacidad para almacenar grandes volúmenes de C en el suelo, que otros ecosistemas del mundo famosos por su riqueza en MO, como los pastizales y las selvas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor y por financiar el inicio del estudio; a los ejidatarios de las comunidades de Mexcaltitán, Los Morillos, Palma Grande, Santa Cruz y Unión de Corrientes en el estado de Nayarit por su apoyo en el trabajo de campo; al Ing. Alfonso Solís Venegas por la ayuda técnica y logística; al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Salamanca y a la Universidad de Salamanca (España) por las facilidades brindadas durante el análisis en laboratorio de las muestras colectadas y al World Wildlife Fond (WWF) por la beca "Príncipe Bernhard" para el primer autor y por financiar la conclusión de la investigación.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, P., L. P. Zamboni y J. F. Gallardo L. 2008. Estimación de carbono en tres bosques de la llanura aluvial del Bajo Paraná (R. Argentina). In: Gallardo, L., J. F. (Comp). La captura de carbono en ecosistemas terrestres iberoamericanos. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca, España. pp. 39-53.
- Acosta, M., J. D. Etchevers B., C. Monreal, K. Quednow y C. Hidalgo M. 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimentos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. In: Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. p. 15.
- Alongi, D. M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation* 29:331-349.
- Armentano, T. V. 1981. The potential significance of tropical organic soils for the carbon balance of the terrestrial biosphere. http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=5468757. (6 de agosto de 2008).
- Betoulle, J. L., F. Fromard, A. Fabre et H. Puig. 2001. Caractérisation des chutes de litière et des apports au sol en nutriments dans une mangrove de Guyane française. *Canadian Journal of Botany* 79:238-249.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the scholarship granted to the first author and for financing the initial stage of the actual study; to the people of Mexcaltitán, Los Morillos, Palma Grande, Santa Cruz y Unión de Corrientes in Nayarit State for their help in field work; to Eng. Alfonso Solís Venegas for his technical and logistic help; to the Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) of Salamanca, and the Universidad de Salamanca (Spain) for the facilities provided during the laboratory analysis of the collected samples and to the World Wildlife Found (WWF) for the "Príncipe Bernhard" scholarship awarded to the first author and for sponsoring the conclusion of this research study.

End of the English version

- Bird, E. 2003. Coastal geomorphology: an introduction. Wiley and Sons, Inc. West Sussex, UK. 340 p.
- Bojórquez, I., A. Hernández, D. García, O. Nájera, F. Flores, A. Madueño y R. Bugarín. 2008. Características de los suelos de las barras paralelas, playas y dunas de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 29(1):37-42.
- Boto, K. G. and J. T. Wellington. 1984. Soil characteristics and nutrient status in a Northern Australia Mangrove Forest. <http://www.jstor.org/stable/1351957>. Estuarine Research Federation. *Estuaries* 7(1):61-69. (6 de agosto de 2008).
- Bravo, F. (Coord) 2007. El papel de los bosques en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, Barcelona, España. 320 p.
- Callo-Concha, D., L. Krishnamurthy y J. Alegre. 2001. Estimación del carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos de la Amazonia Peruana. In: Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad Austral de Chile (UACH). Valdivia, Chile. p. 23.
- Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO). 2008. 22. Río Baluarte-Marismas Nacionales. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rh022.html>. (4 de julio de 2008).
- De la Cruz A., A. 1986. Tropical wetlands as a carbon source. *Aquatic Botany* 25:109-115.
- Environmental System Research Institute (ESRI). 1999. ArcView GIS 3.2. Neuron Data, Inc. EUA. Sistema de Información Geográfica. Seattle, WA. USA. s/p.
- Etchevers B., J. D., C. Hidalgo M., J. Padilla, R. M. López, C. Monreal, C. Iturralde, B. Rapidez, F. De León, M. Acosta M., A. Vergara, K. Quednow, A. Fernández y C. Figueroa. 2002. Subproyecto II: Metodología de la medición de la captura de carbono. Proyecto Manejo Sostenible de Laderas (PMSL). Regiones Cuicatca, Mazateca y Mixe, Oaxaca, México. Colegio de Postgraduados de Montecillo. SAGARPA-GEF-Banco Mundial. México, D. F. México. pp. 23-45.
- Fujimoto, K., A. Imaya, R. Tabuchi, S. Kuramoto, H. Utsugi and T. Murofushi. 1999. Belowground carbon storage of Micronesian mangrove forests. *Ecological Research* 14:409-413.
- Fujimoto, K. 2000. Below-ground carbon sequestration of mangrove forests in the Asia-Pacific Region. In: International Workshop Asia-Pacific Cooperation. Research for Conservation of Mangroves. 26 - 30 de marzo, 2000; Okinawa, Japón. <http://landbase.hqunuedu/Workshops/Okinawa/March2000/Papers/Fujimotopapermar2000.htm>. LandBase. Environmental Monitoring and Governance in the East Asian Hydrosphere 2008. s/p. (22 de agosto de 2008).
- Gallardo L., J. F. and M. I. González. 2004. Sequestration of C in a Spanish chestnut coppice. *Investigación Agraria. Sistema de Recursos Forestales*:108-113.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema climático de Köppen para la República Mexicana. 5ta Edición. Instituto de Geografía. Serie de libros No. 6. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 292 p.

- Gleason, S. M. and K. C. Ewel. 2002. Organic matter dynamics on the forest floor of a Micronesian mangrove forest: an investigation of species composition shifts. *Biotropica* 34(2):190-198.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. Síntesis de información geográfica del estado de Nayarit. Aguascalientes, Ags. México. 140 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Ortofotos digitales de la región de Marismas Nacionales, Nayarit, esc. 1:20 000 F13A88(E), F13C18(E). México.
- Infante G., S. y G. P. Zárate de Lara. 2003. Métodos estadísticos; un enfoque interdisciplinario. 2 ed. Ed. Trillas. México, D. F. México. 643 p.
- International Union of Soil Science (IUSS) Working Group World Reference Base (WRB). 2006. World reference base for soil resources 2006. 2 ed. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 128 p.
- Khan, M., S. Suwa and A. Hagihara. 2007. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* (S. L.) Yong: distribution in the soil and vegetation system. *Wetlands Ecology and Management* 15(2): 141-153.
- López P., J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques* Número Especial 1:25-51.
- MINITAB. 2003. Minitab Release 14 (Version 14.10). Statistical Software. USA. s/p.
- Mitra, S.; R. Wassmann and P. L. G. Vlek. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. *Current Science* 88(1):25-35.
- Moreno C., E., A. Guerrero, M. C. Gutiérrez C., C. A. Ortiz S. y D. J. Palma. 2002a. Los manglares de Tabasco: una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques*. Número especial 1:115-128.
- Moreno C., P., J. L. Rojas, D. Zárate, M. A. Ortiz, A. L. Lara, y T. Saavedra. 2002b. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*. Número especial 1:61-88.
- Osnaya, P. 2003. Avances de México en materia de cambio climático 2001-2002. Osnaya, P. (Comp.), Fernández, A. y J. Martínez (Coord.). Instituto Nacional de Ecología-Semarnat. México. 104 p.
- Palm, C. A., P. L. Woomer, J. Alegre, L. Arévalo, C. Castilla, D. G. Cordeiro, B. Feigl, K. Hairiah, J. Kotto-Same, A. Mendes, A. Moukam, D. Murdiyasar, R. Njomgang, W. J. Parton, A. Ricse, V. Rodrigues, S. M. Sitompul and M. Van Noordwijk. 2000. Carbon sequestration and trace emissions in slash and burn and alternative land uses in the humid tropics. ASB Climatic Change Working Group Report. Final Report, Phase 2. Nairobi, Kenya. 25 p.
- Ponce-H., R. 1999. Assessing the carbon stock and carbon sequestration potential of current and potential land use systems and the economic rationality of land use conversions. In: Food and Agriculture Organization (FAO) (Comp). Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with focus in Latin America and the Caribbean. FAO World Soil Resources Reports 86. pp:79-94.
- Porta, J., M. López A. y C. Roquero. 2003. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. 3 Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 917 p.
- Post, W. M., T. H. Peng, W. R. Emanuel, A. W. King, V. H. Dale, and D. L. De Angelis. 1990. The global carbon cycle. *American Scientist* 78:310-326.
- Pool, D. J., A. E. Lugo and S. C. Snedeker. 1975. Litter production in mangrove forests of Southern Florida and Puerto Rico. In: Walsh, G. E., S. C. Snedeker and H. J. Teas. (Comp.) Proceedings of the International Symposium of Biology and Management of Mangroves. Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, USA. pp. 213 - 237.
- Rebolledo H., H. 1999. *Statistical Analysis System SAS en microcomputadora; Análisis estadístico de datos experimentales*. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 176 p.
- Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHARAP). 2008. Mapa de Marismas Nacionales. Galería de Fotos. <http://www.whsrn.org/data/Unsorted/mapagrande-21919-1.jpg> (1 de diciembre de 2008).
- Rosenzweig, C. and D. Hillel. 2000. Soils and global climate change: Challenges and opportunities. *Soil Science*, 165(1):47-56.
- SAS - Institute. 1999. The SAS System. (Versión 5.1 para Windows). Cary, NC, EUA. s/p.
- Sukardjo, S. 1994. Soils in the mangrove forests of the Apar Nature Reserve, Tanah Grogot, East Kalimantan, Indonesia. *Southeast Asian Studies*. 32(3):385-398.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2000. Sexto periodo de sesiones de la conferencia de las partes en la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. In: Carpeta de prensa. Convención - Marco sobre el Cambio Climático. ONU. La Haya. Países Bajos. 14 p.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1973. Investigación de suelos: métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras. Trad. por A. Contín. Soil Conservation Service. U. S. Department of Agriculture. Ed. Trillas. México, D. F., México. pp. 41-45.
- Valdez-H., J. L. 2002. Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. *Madera y Bosques*. Número Especial 1:129-145.
- Valdez-H., J. L. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Madera y Bosques* Número Especial 2:93-104.
- Van Noordwijk, M., C. Cerri, P.L. Woomer, K. Nugroho and M. Bemoux. 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79:187-225.
- Woomer, P. L., L.L. Tieszen, G. Tappan, A. Touré and M. Sall. 2004. Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments* 59(3):625-642.
- Yáñez-Arceiba, A., R. R. Twilley y A. L. Lara-Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al Cambio Climático Global. *Madera y Bosques* 4(2):3-19.