

CARBONO ORGÁNICO Y CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE SEDIMENTOS EN ÁREAS DEL PASTO MARINO *Thalassia testudinum* EN ECOSISTEMAS COSTEROS DEL SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

Organic carbon and textural characteristics of sediments in areas with turtlegrass *Thalassia testudinum* in coastal ecosystems of the southeastern gulf of Mexico

LG Calva-Benítez ✉, R Torres-Alvarado

(LGCB)(UAMI) Laboratorio de Ecosistemas Costeros. Depto. Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. México D.F. c.p.09340. cblg@xanum.uam.mx

Artículo recibido: 05 de julio de 2010, aceptado: 27 de julio de 2011

RESUMEN. En este estudio se analizaron la distribución textural de los sedimentos superficiales y el contenido de carbono orgánico (C.O.) en áreas costeras asociadas a praderas del pasto marino *Thalassia testudinum* en dos ambientes costeros diferentes: sistemas estuarino-lagunares y arrecifes de coral, localizados en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. La distribución del tamaño de grano y del C.O. fue heterogénea entre los dos tipos de sistemas costeros. En los ambientes estuarinos se cuantificaron contenidos superiores tanto de las fracciones finas (limos y arcillas) como de C.O. En los ambientes arrecifales predominaron las arenas y porcentajes menores de C.O. Sin embargo, en Xcalak (zona arrecifal) el porcentaje de C.O. promedio (2.72 %) fue similar a los reportados para áreas estuarinas, además de que aquí no se cumplió la teoría de sorción. En Tenabo se determinaron los valores promedio de C.O. más altos (8.37 %), de entre todas las localidades estudiadas. Las praderas del pasto marino *T. testudinum* se desarrollaron mejor en áreas someras, protegidas y con poca circulación (exceptuando Champotón), tanto en sedimentos arenosos como lodosos.

Palabras clave: Sedimentos, carbono orgánico, pastos marinos.

ABSTRACT. The textural distribution of the surface sediments and the content of organic carbon (C.O.) were analysed in coastal areas associated with turtlegrass meadows of *Thalassia testudinum* in two different coastal environments: coral reefs and estuarine-lagoon systems, in the states of Campeche, Yucatán and Quintana Roo. The distribution of the particle size and of the C.O. was different in the two types of coastal systems. Greater contents of fine sediments (silt and clay) and of C.O. were quantified in the estuarine environments, while sand and lower percentages of C.O. were predominant in the reef environments. However, in Xcalak (reef zone), the mean percentage of C.O. (2.72 %) was similar to those reported for estuarine areas, and the sorption theory was not accomplished here. The highest mean values of C.O. (8.37 %), of all the studied localities, were recorded in Tenabo. The *T. testudinum* seagrass meadows developed better in shallow, protected and low circulation areas (except for Champotón), both on sandy and muddy sediments.

Key words: Sediments, organic carbon, seagrasses.

INTRODUCCIÓN

Entre los sistemas costeros destacan las zonas estuarinas y los arrecifes de coral, en especial los del Caribe, que tienen importancia ecológica ya que sustentan una gran abundancia y distribución de especies (Knowlton *et al.* 1992), tales ecosistemas son altamente productivos y constituyen reservorios

importantes de materia orgánica, la cual se deposita principalmente en la fase sedimentaria (Alongi, 1998). Esta matriz es un factor fundamental en el control de los ambientes costeros ya que generalmente presentan concentraciones considerables de elementos traza y nutrientes. Las reacciones geoquímicas que se llevan a cabo en los sedimentos, el intercambio y la difusión de iones disueltos o adsor-

bidos, compuestos y gases a través de la interfase agua-sedimento afectan los ciclos de varios elementos químicos, particularmente carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (Kennish, 1986). Asimismo, es sabido que la composición granulométrica y la cantidad de materia orgánica que presentan influyen en la distribución de los organismos bentónicos y en el establecimiento de la vegetación acuática (Albertelli *et al.* 1999). De ahí el que la cobertura y distribución de ésta, están determinadas por la salinidad, la temperatura, la luz, el tipo de sedimento, la cantidad de materia orgánica disuelta y particulada y la fuerza del viento (Herzka & Dunton 1997; Livingston *et al.* 1998; Peterson & Heck 1999; Bostroem & Bonsdorff 2000).

En México, los estudios de *T. testudinum* son escasos y se han enfocado principalmente en aspectos ecológicos como la determinación de su biomasa y densidad (Gutiérrez *et al.* 2000), su relación con la presencia de macroalgas (Lobban & Harrison, 1997; Kopecky & Dunton, 2006) y meiofauna (De Troch *et al.* 2006). Algunos trabajos han analizado su distribución en relación con las características hidrológicas y los impactos negativos que tienen las actividades turísticas en estas praderas (Herrera *et al.* 2009). En Venezuela, Díaz & Liñero (2007) estudiaron la distribución y abundancia de las praderas de pastos marinos así como una granulometría general de los sedimentos.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue el de realizar un estudio base ("baseline") sobre la relación de la presencia de praderas de *Thalassia testudinum* (Banks & Solander ex König, 1805 In. UNIBIO, 2010) con las características de textura del sedimento y su contenido de C.O. en algunos ambientes costeros (estuarinos y arrecifes de coral) de los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En total se analizaron cinco ambientes estuarino-lagunares y tres arrecifales.

Ambientes Estuarino-Lagunares. La Laguna de Términos (Campeche) es una laguna costera tropical localizada en el suroccidente del Golfo de Mé-

xico, entre los meridianos 91° 10' y 92° 00' de longitud oeste y los paralelos 18° 20' y 19° 00' de latitud norte. El Estero Champotón (Camp.) se halla entre los paralelos 19° 24' 00" y 19° 05' 24" de latitud norte, entre los meridianos 90° 43' 12" y 90° 23' 24" de longitud oeste. Tenabo (Camp.) se encuentra entre los paralelos 19° 42' y 20° 06' de latitud norte y entre los meridianos 89° 57' y 90° 28' de longitud oeste. Isla Arena (Punta Arena, Camp.) es un sistema estuarino situado en el Municipio de Calkiní (20° 60' 11" y 90° 46' 20"). La Laguna Celestún (Yucatán) se ubica en la costa oeste de la Península de Yucatán en los paralelos 20° 45' y 20° 58' de latitud norte y los meridianos 90° 15' y 90° 25' de longitud oeste, abarca la frontera política de los Estados de Campeche y Yucatán, así como la frontera natural del Banco de Campeche y la plataforma continental de Yucatán.

Ambientes Arrecifales. El Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (Quintana Roo), frente al poblado del mismo nombre, cuenta con una superficie total de 9 063 ha. Sus coordenadas geográficas extremas son: 21° 00' 00" y 20° 48' 33" latitud norte y 86° 53' 14" y 86° 46' 38" de longitud oeste. El área de Mahahual, al sur del Estado de Q. Roo, se ubicó entre las coordenadas 18° 43' 29.4" y 18° 42' 12.3.4" N y los 87° 41' 06.5" y 87° 42' 46.9" O, es un puerto a donde llega una cantidad considerable de cruceros turísticos. La playa de Xcalak pertenece al Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) también más al sur del Estado de Q. Roo, forma parte de la barrera coralina denominada Sistema Arrecifal del Caribe Mesoamericano, que es la segunda barrera más grande del mundo, aquí las estaciones se establecieron entre los 18° 16' 21.5"-18° 16' 08.0" N y los 87° 49' 59.6"- 87° 49' 37.5" O.

Trabajo de Campo

Las estaciones de colecta se seleccionaron con base en la distribución monoespecífica de las praderas de *Thalassia testudinum*, en ocho localidades, de dos ambientes costeros diferentes: el estuarino, que incluyó la Laguna de Términos, Estero Champotón, Tenabo, Isla Arena y Laguna Celestún. El segundo ambiente fue el arrecifal, representado por Puerto

Morelos, Mahahual y Xcalak (Fig. 1).

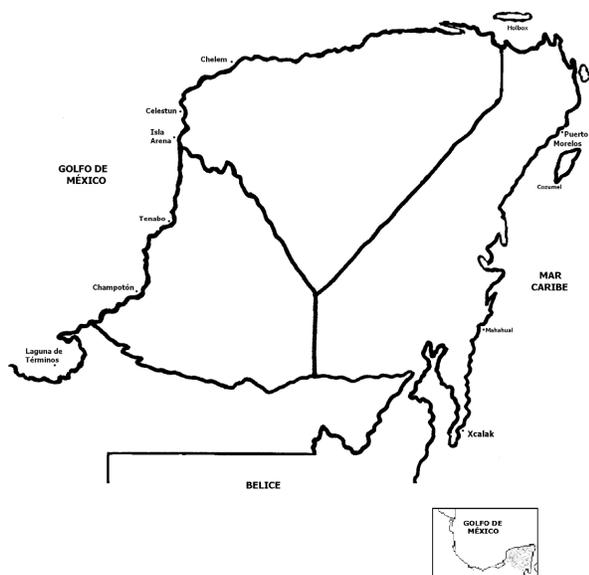


Figura 1. Sitios de muestreo en los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Figure 1. Sampling sites in the states of Campeche, Yucatán and Quintana Roo.

Los sedimentos (en donde se presentaba *T. testudinum*) se recolectaron con un nucleador de acero inoxidable de 20.5 cm de diámetro y 20 cm de longitud.

Se requirió de frascos de vidrio de 250 ml previamente lavados con jabón neutro, libre de fosfatos y enjuagados con agua desionizada (producida por el Sistema de Agua MilliQ) y que también se mantuvieron en estufa a 200 °C por 18 h, para que en campo, del núcleo se eligiera una submuestra de sedimento superficial, se colocó en ellos y se preservaron a baja temperatura (4 °C) hasta su procesamiento en el laboratorio.

Trabajo de Laboratorio

Para la caracterización de la textura de los sedimentos, a una alícuota de 15 g de sedimento húmedo se le agregó peróxido de hidrógeno (al 30%) para oxidar la materia orgánica; una vez terminada la reacción, la fracción gruesa (arenas) fue separada de la fina (limo-arcilla) mediante un tamizado en húmedo (con agua miliQ) usando una malla de

0.0625 mm. En cuanto a las arenas, se cuantificaron como fracción total (sin clasificación entre diferentes ϕ). La fracción fina (partículas menores a 4ϕ) se analizó por medio de la Técnica de Pipeteo, propuesta por Folk (1974) la cual está fundamentada en la velocidad de sedimentación de las partículas, calculada con base en la ley de Stokes.

Para el análisis del contenido de C.O. los sedimentos fueron secados en horno a no más de 40 °C durante 48 h y se tamizaron en una malla de 0.0625 mm. El porcentaje de C.O. se determinó mediante la técnica propuesta por Gaudette *et al.* (1974) en la que se llevó a cabo una oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, seguida de una titulación del exceso de dicromato con sulfato ferroso amoniacal. Las muestras se procesaron por duplicado y con dos blancos. Con esta técnica la presencia de carbonatos no produce interferencias y tiene una precisión de $\pm 0.25\%$.

Análisis Estadístico de los Resultados

Para los análisis estadísticos se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para identificar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes sistemas y entre los diferentes sitios de estudio.

RESULTADOS

Textura de sedimentos

En general, en ambos tipos de ecosistemas costeros se determinó, a partir del análisis granulométrico, que el sedimento predominante fue arena (42% a 92%), además de que la fracción gruesa estuvo conformada también con restos de coral, restos de pastos marinos, macroalgas y moluscos (bivalvos y/o gasterópodos (10% a 20%). Por el contrario, las fracciones finas limos (9% a 31%) y arcillas (2.5% a 28%) fueron menos representativas. A nivel de ambientes, en las zonas arrecifales prevalecieron las arenas, con un promedio de 86.71%; en comparación con los sistemas estuarinos, donde se registró un promedio de 67.75%. Las diferencias de los porcentajes de arena entre ambos tipos de sistemas fueron significativas ($p = 0.01$). Por el contrario, en las áreas estuarinas el contenido de limos

fue superior (22.52 % de promedio) al obtenido en las arrecifales (5.95 % de promedio), siendo también significativas las diferencias ($p = 0.001$). En lo que respecta al porcentaje de arcillas en los ambientes estuarinos con 9.26 % y 7.34 % en arrecifes de coral, las diferencias entre ambos tipos de ambientes costeros no fueron significativas ($p = 0.55$) (Fig. 2). Cabe mencionar que, el intervalo de variación de los diferentes tipos de granos del sedimento en las zonas estuarinas fue mayor (arenas 56.13 % a 79.68 %, limos 9.46 % a 31.15 % y arcillas 2.87 a 12.72 %) en relación a los ambientes arrecifales (arenas 78.55 % a 91.80 %, limos 3.25 % a 8.28 % y arcillas 1.53 % a 18.20 %) (Tabla 1).

Ambientes estuarino-lagunares

La textura de sedimentos entre los diferentes ambientes estuarinos analizados no presentó diferencias significativas entre los principales tipos de grano: arena ($p = 0.82$), limos ($p = 0.44$) y arcillas ($p = 0.44$) (Fig. 3).

En Champotón, predominaron las arenas (68.87 %) en la porción norte sujeta a la influencia de la descarga fluvial, que tiene un volumen promedio anual de 451 millones de metros cúbicos (APICAM, 2004), mientras que en la sur, caracterizada por una gran densidad de pastos marinos prevalecieron los sedimentos limosos (41.48 %) y arcillosos (18.29 %). En el resto de esta zona el intervalo de limos fluctuó desde 19.41 % a 41.48 % y el de arcillas de 8.14 a 18.29 %. En la Laguna de Términos, las zonas con los porcentajes mayores de arenas (86.98 % - 90 %), se localizaron cerca a la boca de comunicación con el mar, lo que demuestra que el área estudiada donde habita *T. testudinum* es una zona con sedimentos primordialmente arenosos. En relación a la fracción lodosa, se estableció que los sedimentos limosos tuvieron 24.25 % en promedio y en cuanto a las arcillas en general, su porcentaje fue bajo (5.02 %-6.64 %).

En Laguna de Celestún, en las localidades sujetas a la influencia de corrientes se determinó el porcentaje mayor de arena (91.19 %), con un contenido mínimo de limos (12.02 %) y arcillas (15.05 %).

En Tenabo se obtuvo una gran variación entre los contenidos de arenas (25.1 % - 94.26 %) y de

limos (0.78 % - 57.74 %), en comparación con los demás ambientes; no obstante, en las áreas someras y con deficiente circulación, los sedimentos fueron limoso-arenosos-arcillosos (57.74 %, 25.10 %, 17.16 %).

De los promedios obtenidos de la textura del sedimento en los ambientes lagunares (Fig. 4a), las arenas fueron el componente dominante (70.43 % - 91.80 %) en la mayoría de los sitios de muestreo, con excepción de Tenabo con porcentajes menores (64.36 %) y Champotón (56.13 %). En estos ecosistemas los limos fueron más altos en Champotón (31.15 %) y Tenabo (28.27 %); en tanto que las arcillas tuvieron los valores mayores en Celestún (15.05 %) y Champotón (12.72 %), no obstante, tales porcentajes en general indicaron que su presencia fue mínima, de ahí el que en Champotón y Tenabo los sedimentos estuvieron conformados principalmente por limos y arenas.

Ambientes arrecifales

El porcentaje de arenas promedio para las zonas arrecifales, en orden decreciente fueron: Xcalak (91.8 %), Puerto Morelos (90.19 %) y Mahahual (78.55 %), cuyas diferencias fueron significativas ($p = 0.002$). Concerniente a las fracciones finas éstas no sobresalieron, ya que los limos estuvieron en un intervalo de 3.25-8.28 %, registrándose el promedio mayor en Puerto Morelos (8.28 %); y las arcillas en Mahahual tuvieron 18.2 % y su presencia fue mínima en Xcalak y Puerto Morelos con tan solo 2.53 % y 1.53 %, respectivamente (Fig. 5).

Carbono orgánico

Entre los diferentes sistemas costeros analizados, se contó con el mayor porcentaje de C.O. en los ambientes estuarinos (2.96 %) y en los arrecifales (1.14 %) y se determinó una diferencia significativa ($p = 0.049$). El intervalo de variación de C.O. fue superior para el caso de las localidades estuarinas (0.25 % - 12.18 %) en comparación con las arrecifales (0.35 % - 4.95 %) (Fig. 6).

Ambientes estuarinos-lagunares

El porcentaje de C.O. presentó variaciones significativas ($p = 0.00$) entre las distintas zonas es-

Tabla 1. Composición granulométrica y contenido de carbono orgánico en sedimentos asociados a *Thalassia testudinum* en ecosistemas estuarino-lagunares y de arrecifes de coral.

Table 1. Sediment texture and organic carbon content in sediments associated with *Thalassia testudinum* in estuarine-lagoon ecosystems and coral reefs.

Parámetro	Ecosistemas Estuarino-Lagunares	Ecosistemas de Arrecifes de Coral
Arena (%)	5.78-97.51 (67.75 ± 23.54)	71.57-96.74 (86.71 ± 7.05)
Limo (%)	0.78-58.69 (22.53 ± 16.41)	0.88-10.91 (5.95 ± 3.13)
Arcilla (%)	0.0-35.53 (9.26 ± 9.25)	0.26-23.72 (7.34 ± 8.40)
Carbono orgánico (%)	0.25-12.18 (2.96 ± 2.99)	0.35-4.95 (1.14 ± 1.27)

Mínimo-Máximo (Promedio ± Desviación Estándar)

tuarinas analizadas (Fig. 4b), en orden decreciente la cantidad de C.O. promedio fue: Tenabo (8.37%) > Isla Arenas (4.22%) > Celestún (4.10%) > Champotón (3.66%) > Términos (0.77%).

En Tenabo se evaluó el mayor contenido de C.O. con un promedio de 8.56% (5.30-12.18%), asimismo, aquí se registró el mayor contenido de C.O. de entre todas las estaciones analizadas en el presente trabajo.

En el área de Celestún se estableció una zonación del porcentaje de C.O. que fluctuó de 3.47% en el área donde afloran los manantiales hasta 5.72% en las zonas protegidas con presencia de bancos arenosos.

Ambientes arrecifales

Los contenidos de C.O. mostraron diferencias significativas ($p = 0.02$) entre estos sitios estudiados. Los porcentajes promedio en orden decreciente fueron: Xcalak (2.72%), Puerto Morelos (0.68%) y Mahahual (0.53%) (Fig. 6). En Puerto Morelos y Mahahual los contenidos de C.O. promedio fueron bajos y de alguna manera se pueden considerar homogéneos, con intervalos para el primero de 0.57% a 0.81% y de 0.47% a 0.83% para el segundo, en tanto que, para el área de Xcalak se estiman como valores altos para un zona marina ya que su promedio fue de 2.72% (1.27% a 4.95%). Tomando en cuenta el largo y ancho de la hoja, así como el porcentaje de cobertura de las praderas de pastos en cada zona de estudio, se determinó una correlación positiva entre el contenido de C.O. con el largo ($r = 0.74$; $p < 0.05$) y ancho de las hojas ($r = 0.70$; $p < 0.05$), asimismo, entre el largo-ancho de la hoja ($r = 0.96$; $p < 0.05$) pero, no hubo correlaciones

significativas con la profundidad, ni con el porcentaje de cobertura de los pastos marinos ni con los diferentes tipos de sedimentos.

DISCUSIÓN

Ambientes estuarino-lagunares

La textura de los sedimentos entre los diferentes ambientes estuarinos estudiados no presentó diferencias significativas entre las principales clases de grano: arena, limos y arcillas, lo cual indica ambientes muy heterogéneos, con variación hidrodinámica a nivel espacial (Fig. 3), es decir, la mezcla de arenas, limos y arcillas en diferentes proporciones, es característica de zonas someras y cercanas a la costa (Poppe *et al.* 2000).

En Champotón, caracterizado por una gran densidad de pastos marinos prevalecieron los sedimentos arenoso-limosos, donde los procesos de consolidación son más rápidos que en las arcillas (Stickney, 1984; Poppe *et al.* 2000), además de que las praderas son un sistema de crecimiento que alteran el patrón de sedimentación y de depositación, en virtud de que sus hojas sirven como trampas de sedimentos mientras que, sus rizomas actúan como estabilizadores de éstos en el fondo, coadyuvando a la no erosión de los mismos, de ahí la importancia de conservar estas fanerógamas acuáticas.

En la laguna de Términos en el área estudiada donde se recolectó *T. testudinum*, cercana a la Boca del Carmen de comunicación con el mar son áreas predominantemente arenosas debido a la corriente marina que ingresa a dicha localidad la densidad de pastos marinos también fue superior. Respecto a las fracciones finas, los sedimentos limosos estuvieron

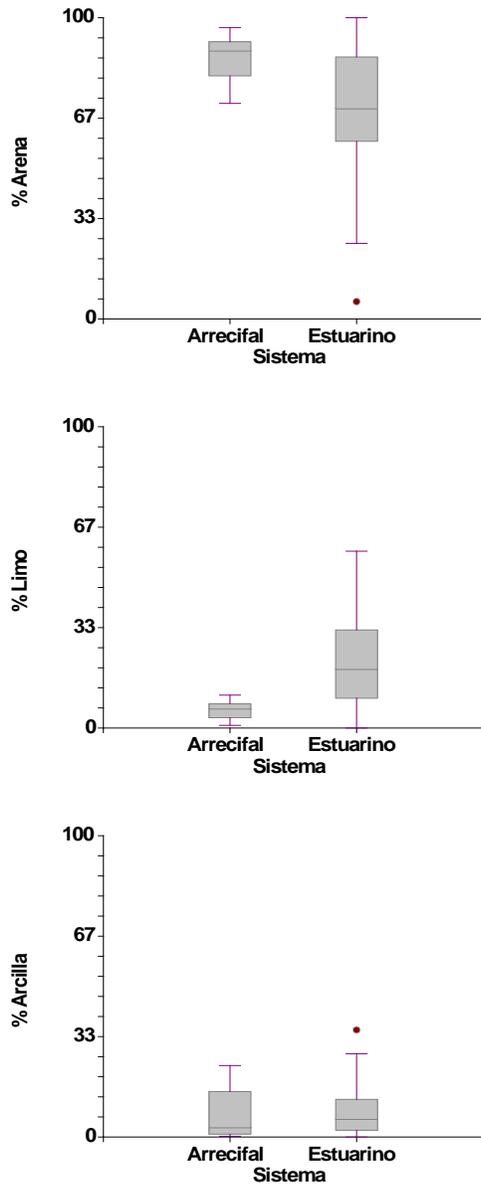


Figura 2. Textura de sedimentos de los ecosistemas costeros asociados a la presencia del pasto marino *Thalassia testudinum* en los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Figure 2. Sediment texture in coastal ecosystems associated with the seagrass *Thalassia testudinum* in the states of Campeche, Yucatán and Quintana Roo.

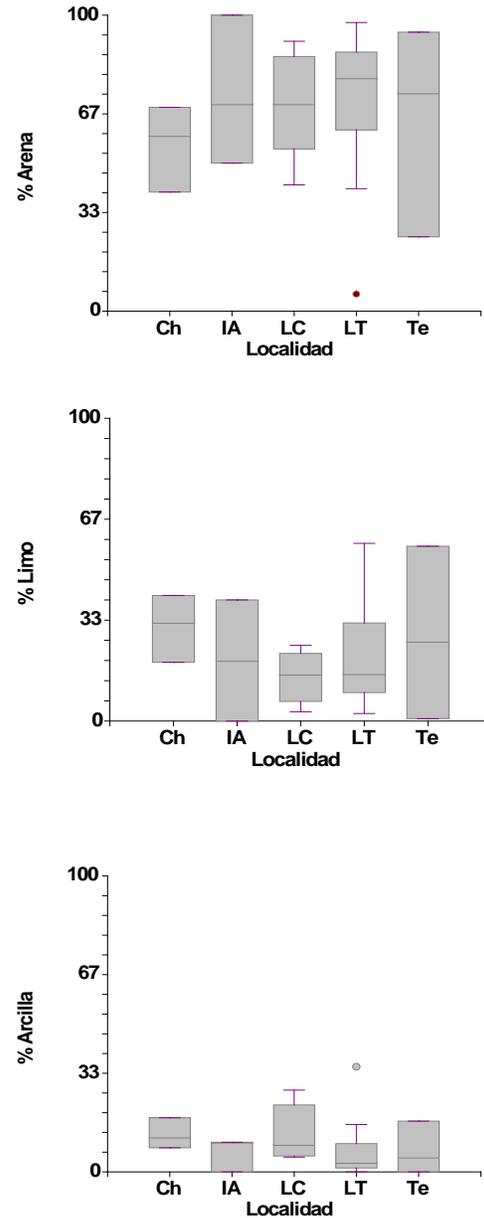


Figura 3. Composición granulométrica de sedimentos en los ecosistemas estuarinos.

Figure 3. Granulometric composition of estuarine ecosystem sediments.

en las áreas netamente protegidas, someras y de escasa circulación.

En lo que se refiere a la Laguna de Celestún, en las zonas sujetas a la influencia de corrientes se determinó el porcentaje mayor de arena, mientras

que en las zonas de menor energía hidrodinámica abundaron las fracciones finas tales como limos y arcillas, coincidiendo con lo reportado por Fleming (2000); De Falco *et al.* 2004 y Nayar *et al.* 2007, tanto en la Laguna de Términos como en Celestún el

dominio de sedimentos arenosos indica que el material se ha depositado durante un tiempo prolongado, por lo tanto, pierde agua gradualmente y comienza a incrementarse la dificultad de erosión. Este tipo de sedimento, aunado a la presencia de pastos marinos, favorece el proceso de consolidación, que esencialmente es el resultado de la expulsión del agua de los intersticios entre los granos del suelo bajo presión (Sanford, 2008); el agua escapa a través de canales microscópicos interconectados a los intersticios. Los procesos de consolidación son muy rápidos en la arena, pero muy lentos en limos y arcillas; el intervalo depende del tipo de arcilla mineral y el grado de floculación (Postma, 1967).

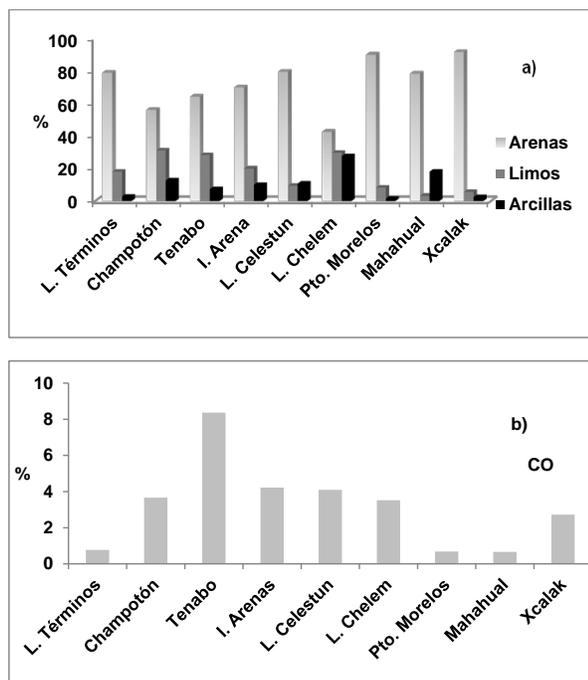


Figura 4. Textura de sedimentos promedio (a) y carbono orgánico promedio (b) en ecosistemas costeros asociados a la presencia del pasto marino *Thalassia testudinum* en los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Figure 4. Mean texture of sediments (a) and mean organic carbon (b) in coastal ecosystems associated with the seagrass *Thalassia testudinum* in the states of Campeche, Yucatán and Quintana Roo.

En el ambiente estuarino de Tenabo se observó una gran variación en los contenidos de arenas en comparación con los demás ambientes; no obstante, en las áreas someras y con deficiente circula-

ción los sedimentos preponderantes fueron limoso-arenosos-arcillosos, en contraparte en Champotón y Tenabo los sedimentos estuvieron conformados principalmente por limos y arenas, marcando en dichos sitios la transición de un ambiente de baja a alta energía.

Ambientes arrecifales

En los ambientes arrecifales destacó el sedimento arenoso siendo los lodos menos representativos (Fig. 5), mostrando que hay algo de deposición aún bajo condiciones de alta energía mareal. Los resultados de este trabajo evidencian el que los patrones de sedimentación pueden ser explicados por los mecanismos asociados con el gradiente de energía hidrodinámica local (Flemming, 2000).

Carbono orgánico

En términos generales, los valores altos de C.O. en las zonas estuarinas se asocian con el aporte de materia orgánica derivada de la presencia de vegetación sumergida (pastos marinos) y marginal como es el caso del manglar (Gutiérrez *et al.* 2000), sin descartar el aporte por fitoplancton (Alongi 1998; Calva *et al.* 2006) asimismo, se consideró la entrada de material orgánico incluso de origen antropogénico, que llega a través de los aportes fluviales como es el caso de Champotón, donde el río junto con sus afluentes secundarios, conforma el principal recurso hídrico, además de ser uno de los ríos más importantes de la cuenca hidrográfica del sur del Golfo de México. En Tenabo, aunque no existen escurrimientos superficiales, se presenta un sistema hidrológico originado por la permeabilidad de los sedimentos calcáreos existentes en la zona, los cuales permiten la infiltración de agua, generando corrientes subterráneas (Troccoli *et al.* 2004). En Celestún los aportes de agua dulce son a través de afloramientos del manto freático en forma de manantiales dispersos en la laguna, los que aportan también materia orgánica. Se debe también mencionar que el intervalo de variación de C.O. fue superior en el caso de las zonas estuarinas (0.77 % a 8.37 %) en comparación con las arrecifales (0.53 % a 2.72 %) debido a que la zona del Caribe se considera como oligotrófica y a que las velocidades de las corrientes son mayores en

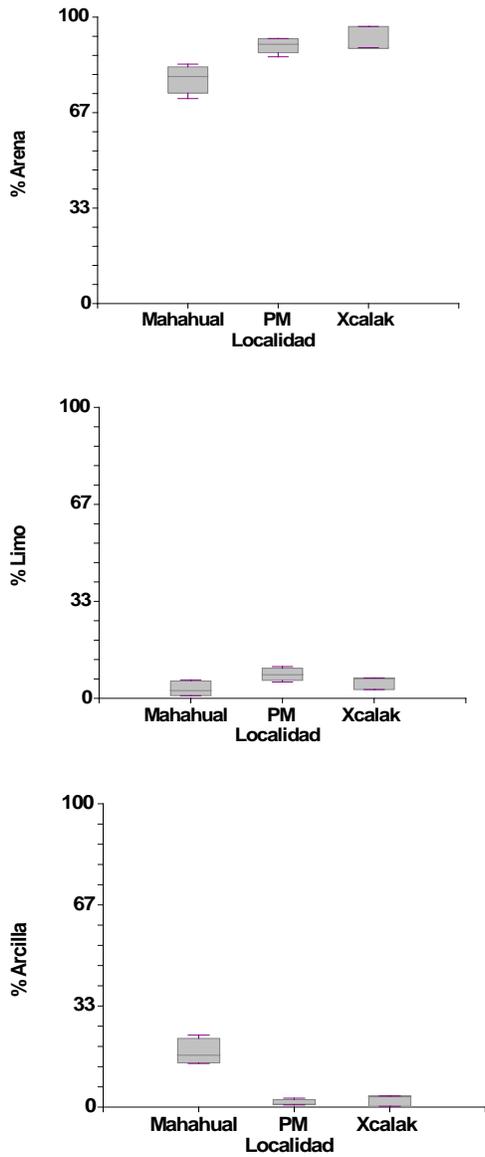


Figura 5. Composición granulométrica de sedimentos arrecifales.

Figure 5. Granulometric composition of reefs sediments.

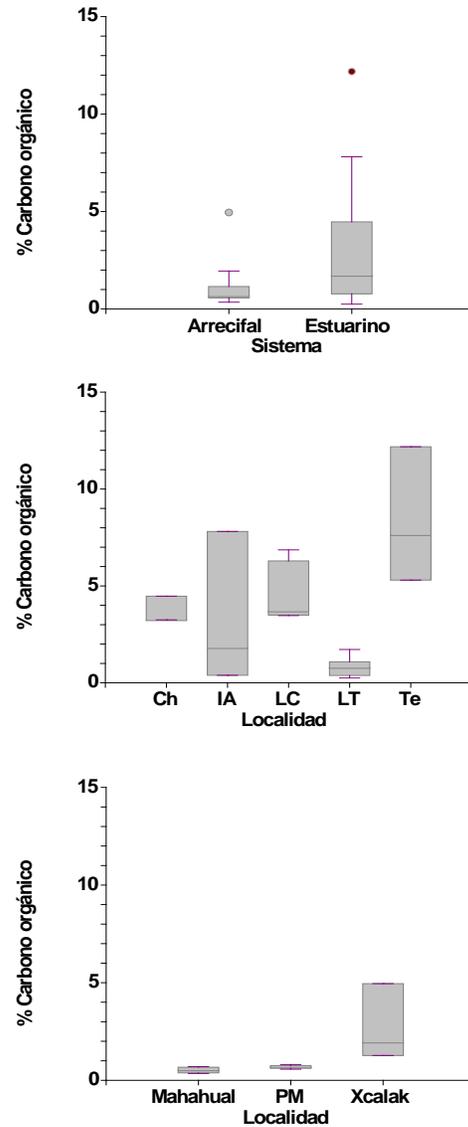


Figura 6. Carbono orgánico en sedimentos de sistemas estuarinos y de arrecife de coral asociados a la presencia del pasto marino *Thalassia testudinum*.

Figure 6. Organic carbon in sediments of estuarine ecosystems and of coral reefs associated with the seagrass *Thalassia testudinum*.

comparación con las costas de Yucatán y Campeche (Troccoli *et al.* 2004) (Fig. 6)

Ambientes estuarinos

En Tenabo se obtuvo el mayor contenido de C.O. de entre todas las estaciones analizadas. El incremento del C.O. en las fracciones finas puede ser

atribuido al aumento del área superficial de las partículas en las que se aumenta la capacidad de sorción (Poppe *et al.* 2000). Además de que en este ambiente las hojas de *T. testudinum* presentaron una mayor longitud promedio (65 cm) y ancho (18 mm) en comparación con la medida en las praderas de pastos marinos de los demás ambientes estudiados

así como una cobertura del 80 %. Se estableció que una cantidad considerable de C.O. aportado a los sedimentos proviene de las hojas de las praderas de pastos marinos, por lo cual la longitud de éstas se relacionó directamente con el incremento de aportes orgánicos.

En Isla Arenas los contenidos de C.O. posiblemente también se relacionaron con la presencia de pastos marinos, ya que en esta zona las praderas tuvieron densidades altas (cobertura 90 %) y las hojas tuvieron un largo promedio considerable de 40 cm. Asimismo, (Alongi, 1998), destacó lo fundamental que es el aporte de materia orgánica derivada de la biomasa de *T. testudinum* la cual en su mayor parte está formada por el sistema radical, el cual se encuentra sumergido dentro de los sedimentos y que constituye entre el 80 % y el 88 % de la biomasa total (Díaz & Liñero, (2007), por otra parte, hay evidencia de que los pastos conducen los nutrientes desde el sedimento, hacia las hojas y de ahí hacía los epífitos (Lobban & Harrison, 1997).

En el área de Celestún se identificó una zonación del C.O. desde el área donde afloraban los manantiales hacia las localidades protegidas con presencia de bancos arenosos, estos resultados coinciden con lo reportado por Poppe *et al.* (2000), quienes mencionan que el contenido de C.O. aumenta en dirección hacia las áreas someras.

En Champotón, al igual que en Tenabo, la presencia de las fracciones finas fue un factor determinante en las concentraciones de C.O. cuantificadas, sobre ello, Valette (1993) menciona que los sedimentos de grano fino tienen una gran capacidad de adsorción tanto para materia orgánica como para los contaminantes. A nivel espacial, en este ambiente las estaciones con los porcentajes más altos de C.O. se ubicaron cerca de la desembocadura del río Champotón al respecto, Preston & Proddutu (1992) determinaron la relevancia que tiene el aporte de materiales orgánicos alóctonos que llegan a los ambientes litorales principalmente a través de los ríos. A pesar de que en los sistemas de Champotón y Tenabo aparentemente existe una correlación entre el contenido de C.O. y el tamaño de grano del sedimento, dicha relación no fue estadísticamente significativa. En los demás ambientes estuarinos

tampoco se determinó una relación entre el tamaño de la partícula del sedimento y el contenido de C.O. Al respecto Al-Ghadban *et al.* (1994) tampoco obtuvieron correlación alguna entre el porcentaje de limos y arcillas con el C.O.

En la laguna de Términos se registraron porcentajes más bajos de C.O. probablemente por la presencia de una mayor cantidad de sedimentos arenosos, los cuales no son adsorbentes óptimos de materia orgánica, aunado al hecho de que es un sistema que está sujeto a una mayor influencia de los movimientos de agua tanto de entrada como de salida del sistema (Grenz *et al.* 2010) y concordando este decremento de C.O. con una menor longitud promedio de las hojas del pasto marino en esta zona (21 cm) pese a que su cobertura fue del 50 % siendo ésta menor a lo descrito anteriormente en las otras localidades, Lobban & Harrison (1997) citan que en la macroalga *Fucus vesiculosus* cuando se encuentra en hábitats expuestos, disminuye su tamaño como una respuesta a la acción de las olas haciéndose más pequeñas y angostas, lo que pudiera estar sucediendo aquí con *T. testudinum*.

Por otra parte, en esta laguna el mayor contenido de C.O. se presentó en zonas protegidas, mientras que el menor porcentaje se cuantificó en zonas cercanas a la Boca del Carmen, que es un área expuesta con mayor influencia de las mareas y las corrientes, de manera similar a lo reportado por Sui & QiaoMin (1999) quienes establecieron que el contenido de C.O. decreció en dirección hacia el mar. En otro rubro, De Falco *et al.* (2004) sugieren que en los sedimentos arenosos al incrementarse la energía hidrodinámica, p. ej. marea y/u olas y corrientes producidas por los vientos se facilita la oxidación de la materia orgánica de ahí los resultados en esta laguna.

Ambientes arrecifales

Los contenidos de C.O. presentaron diferencias significativas entre los distintos ambientes arrecifales trabajados. Los porcentajes promedio en orden decreciente fueron: Xcalak, Puerto Morelos y Mahahual (Fig. 6). Estas diferencias podrían atribuirse a la extensión y estado de las praderas de pastos marinos, en Xcalak la vegetación sumergida

está muy bien preservada y las praderas se extienden desde la playa hacia el arrecife anterior (cobertura de 90 %) y las hojas tuvieron una longitud promedio de 35 cm. En Puerto Morelos pese a que los pastos están aún en buen estado, su extensión fue menor (cobertura del 60 %). Por el contrario, en Mahahual quedan pocos manchones de pastos marinos (cobertura 40 %) debido a que se han eliminado para crear una zona de playa con arena blanca que favorece el desarrollo de las actividades turísticas que se originan por la afluencia de una gran cantidad de cruceros turísticos (Rivera-Monroy *et al.* 2004) y turismo nacional.

Al efectuar una comparación del contenido de C.O. promedio en sedimentos de trece lagunas costeras de México, de acuerdo a lo citado por (Calva *et al.* 2006, Calva *et al.* 2009) los ecosistemas costeros Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola, Chis. presentaron los mayores valores (6.92 % y 4.29 % respectivamente) y los autores refieren que ambos sistemas lagunares cuentan con la presencia de varios productores primarios (fitoplancton, macroalgas y fanerógamas acuáticas), de igual forma, en el presente trabajo se confirmó lo relevante no sólo de la presencia de pastos marinos como contribuyentes de C.O. a la matriz sedimentaria, sino también de lo importante que fue tanto el tamaño de la hoja como el porcentaje de cobertura de los mismos. También en referencia a lo descrito por Lobban & Harrison (1997), hay que considerar el que las hojas de los pastos marinos sustentan una variedad de microalgas, macroalgas e invertebrados además de que el C.O. puede ser exportado fuera de costa y a los arrecifes coralinos o hacia niveles tróficos más altos y/o puede ser reciclado principalmente dentro

del mismo sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este primer estudio, se concluyó que los sistemas estuarinos presentaron un porcentaje considerable de las fracciones finas (lodosas) y contenidos de C.O. altos, por el contrario, en las zonas arrecifales predominaron las arenas y porcentajes de C.O. bajos, sin embargo, en Xcalak (zona arrecifal) los valores de C.O. promedio fueron similares a los reportados para áreas estuarinas además de que aquí no se cumplió la teoría de sorción. Tenabo destacó al presentar los mayores porcentajes promedio de C.O. de entre todas las localidades estudiadas, por lo que se sugiere considerar el hecho de que un excesivo enriquecimiento de C.O. de los sedimentos puede ocasionar una baja considerable de oxígeno, producción de sulfuro de hidrógeno y por ende, el colapso de la macrofauna bentónica (Díaz & Rosenberg 1995; Levin *et al.* 2009)) así como, efectos adversos en el funcionamiento y sobrevivencia de los pastos marinos (Burkholder *et al.* 2007). También, se comprobó que las praderas de *T. testudinum* se desarrollaron mejor en áreas someras, protegidas y de poca circulación (con excepción de Champotón) e independientemente de si el sustrato era lodoso o arenoso.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y por el Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Quintana Roo QROO-C03-04-007. Gracias a los árbitros por sus acertadas sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Albertelli G, Covazzi AH, Danovaro R, Fabiano M, Frascchetti S, Pusceddu A (1999) Differential responses of bacteria, meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea, NW Mediterranean): role of food availability. *Journal of Sea Research* 42: 11-26.
- Al-Ghadban AN, Jacob PG, Abdall F (1994) Total organic carbon in the sediments of the Arabian Gulf and need for biological productivity Investigations. *Marine Pollution Bulletin* 28: 356-362.
- Alongi DM (1998) *Coastal Ecosystem Processes*. CRC Press 419 p.
- APICAM (2004) Administración Portuaria Integral de Campeche S.A. de C.V. Proyecto Ampliación del Muelle Seybaplaya. 113 p.

- Bostroem C, Bonsdorff E (2000) Zoobenthic community establishment and habitat complexity -the importance of seagrass shoot-density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment. *Marine Ecology Progress Series* 205: 123-138.
- Burkholder JM, Tomasko DA, Touchette BW (2007) Seagrasses and eutrophication. *Journal Experimental Marine Biology & Ecology* 350: 46-72.
- Calva-Benítez LG, Pérez-Rojas A, Márquez AZ (2006) Contenido de carbono orgánico y textura de sedimentos del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica* 16(2): 127-136.
- De Falco G, Magni P, Teräsvuori LMH, Matteucci G (2004) Sediment grain size and organic carbon distribution in the Cabras Lagoon (Sardinia, Western Mediterranean). *Chemistry & Ecology* 20 (Supplement 1): 367-377.
- De Troch M, van Gansbeke MD, Vincx M (2006) Resource availability and meiofauna in sediments of tropical seagrass beds: Local versus global trends. *Marine Environmental Research* 61(1): 59-73.
- Díaz OD, Liñero IA (2007) Biomass and density of *Thalassia testudinum* beds in Mochimabay, Venezuela. *Acta Botánica Venezolánica* 30(1): 217-226.
- Díaz RJ, Rosenberg R (1995) Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 33: 245-303.
- Flemming BW (2000) A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. *Continental Shelf Research* 20: 1125-1137.
- Folk RL (1974) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Auatin, Texas. USA 182 p.
- Gaudette H, W Flight, L Toner, D Folger (1974) An inexpensive tritration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sediments & Petrology* 44(1): 249-253.
- Grenz C, Alvarez CS, Calva-Benítez LG, Chifflet S, Conan P, Denis L, Douillet P, Renaud Fichez, Gutierrez F, Origel M & Pinazo C, Solis V, Torres Alvarado R. (2010) JEST. Joint Environmental Study of Terminos Lagoon. Informe Final. IRD (Institut de Recherche Pour le Developement), Francia-Universidad Autonoma Metropolitana. 68 p.
- Gutiérrez AMA, Fuente MGB, Cervantes AM (2000) Biomasa y densidad de dos especies de pastos marinos en el sur de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 48(2-3): 313-316.
- Herrera JAS, Cebrian, Hauxwell J, Ramírez JR, Ralph P (2010) Evidence of negative impacts of ecological tourism on turtlegrass (*Thalassia testudinum*) beds in a marine protected area of the Mexican Caribbean. *Aquatic Ecology* 44: 23-31.
- Herzka SZ, Dunton KH (1997) Seasonal photosynthetic patterns of the seagrass *Thalassia testudinum* in the western Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 152: 103-117.
- Kennish MJ (1986) *Ecology of Estuaries*. Vol I. Physical and Chemical Aspects CRC Press, INC. USA 254 p.
- Knowlton N, Weil E, Weigt LA, Guzman HM (1992) Sibling species in *Montastrea annularis*, coral bleaching, and the coral climate record. *Science* 255: 330-333.
- Kopecky AL, Dunton KH (2006) Variability in drift macroalgal abundance in relation to biotic and abiotic factors in two seagrass dominated estuaries in the western Gulf of Mexico. *Estuaries and Coasts* 29(4): 617-29.
- Levin LA, Ekau W, Gooday AJ, Jorissen F, Middelburg JJ, Naqvi SWA, Neira C, Rabalais NN, Zhang J (2009). Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences* 6: 2063-2098.

- Livingston RJ, SE McGlynn, X Niu (1998) Factors controlling seagrass growth in a gulf coastal system: Water and sediment quality and light. *Aquatic Botany* 60: 135-159.
- Lobban CHS, Harrison PJ (1997) *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge University Press. New York, USA 366 p.
- Stickney R (1984) Sedimentary Processes. En: *Estuarine ecology of the southeastern United States and Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press. USA. 46-65 pp.
- Peterson BJ, Heck HL Jr (1999) The potential for suspension feeding bivalves to increase seagrass productivity. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 240: 37-52.
- Poppe JL, Knebel HJ, Mlodzinska ZJ, Hastings ME, Seekins BA (2000) Distribution of surficial sediment in Long Island Sound and adjacent waters: texture and total organic carbon. *Journal of Coastal Research* 16(3):567-574
- Postma H (1967) Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. En: Lauff, GH (Ed) *Estuaries*. Amer. Assoc. Adv. Sci. Publ. 83, Washington, DC 158-179 pp.
- Preston MR, Prodduturu P (1992) Tidal variations of particulate carbohydrates in the Mersey Estuary. *Estuarine Coastal and Marine Science* 34: 37-48
- Rivera-Monroy VH, Twilley R R, Bone D, Childers DL, Coronado-Molina C, Feller IC, Herrera-Silveira J, Jaffe R, Mancera E, Rejmankova E, Salisbury JE, Weil E (2004) A conceptual framework to develop long-term ecological research and management objectives in the wider Caribbean region. *BioScience* 4: 843-856
- Sanford LP (2008) Modeling a dynamically varying mixed sediment bed with erosion, deposition, bioturbation, consolidation, and armoring. *Computers & Geosciences* 34(10): 1263-1283.
- Sui S, QiaoMin Z (1999) Characteristics of sediments along mangrove coast of South China. *Tropic Oceanology/Redai Haiyang*. Guangzhou 18(4):17-23
- Troccoli LG, Herrera-Silveira J & Comín FA (2004) Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatán, Mexico. *Hydrobiologia* 519:85-102
- UNIBIO (2010) Colecciones Biológicas. Instituto de Biología, UNAM. "*Thalassia testudinum* Banks & Solander ex König, 1805 - IBUNAM:MEXU:PA334893 ex K".
- Valette SN (1993) The Use of Sediment Cores to Reconstruct Historical Trends in Contamination of Estuarine and Coastal Sediments. *Estuaries* 16(3B): 577-588.