



Caracterización sedimentológica del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México

Sedimentological characterization of the Mandinga Lagoon System, Veracruz, Mexico

Asela del Carmen Rodríguez-Varela¹✉  0000-0002-4594-1969, Horacio Vázquez-López²  0000-0002-7209-1592, Rafael Chávez-López³  0000-0002-0936-7365, Sergio Cházaro-Olvera⁴  0000-0002-0667-0043, Ángel Morán-Silva⁴  0000-0002-7545-2269, Omar Alfredo Barreto-Segura¹  0000-0002-9681-9197 y Adolfo Cruz-Gómez⁵

¹Laboratorio de Oceanografía Costera, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. CP 54090. ✉ asela@unam.mx omarbarreto23@hotmail.com

²Módulo de Manejo de los Recursos Naturales, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. De Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. CP 54090. hvazquez@unam.mx

³Laboratorio de Ecología Estuarina, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. CP 54090. rafaelcl@unam.mx

⁴Laboratorio de Crustáceos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. CP 54090. schazaro@gmail.com cygamoran@gmail.com

⁵Laboratorio de Ecología de Peces, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. CP 54090. adolfofg@unam.mx

RESUMEN

Se realizó una caracterización sedimentológica del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, durante el periodo 2007-2015. Se extrajeron muestras de 20 estaciones donde se obtuvieron en porcentaje las fracciones de arena, lodo, grava y carbono orgánico total. La textura del sedimento se clasifica como arena lodosa con huellas de grava. En general la arena se presentó con un promedio de 63.42%, lodo en promedio con 25.58% y grava con 9.49%. Se presentan niveles de carbono orgánico total bajos en promedio de 1.21%. El sistema costero como la mayoría de estas lagunas muestra una marcada zonación independiente de las mareas. La parte inferior o sur de la laguna de Mandinga, alejada de la boca de comunicación, predomina la fracción gravosa debido a las zonas concheras o de extracción de ostión, así como la parte norte de la laguna La Larga, en la denominada zona del Conchal. La zona media del sistema, por el contrario, predominan los sedimentos lodosos que corresponden a los esteros Horcones, Mandinga, la laguna La Redonda y norte de Mandinga, pero homogéneamente representada, la fracción arenosa es la característica principal del sistema.

Palabras clave: carbono orgánico; estuarios; lodos, sedimentología; textura.

Manuscrito recibido el 20 de julio de 2021, aceptado el 10 de junio de 2022.

ABSTRACT

A sedimentological characterization of the Lagoon System Mandinga, Veracruz, was carried out during the period 2007 to 2015. Samples were taken from 20 stations, the fractions of sand, mud, gravel, and percentage of total organic carbon were obtained. The texture of the sediment is classified as muddy sand with gravel traces. In general, the sand was presented with an average of 63.42 %, mud on average with 25.58 % and gravel with 9.49 %, with average low total organic carbon levels of 1.21%. The coastal lagoon system, like most of these coastal lagoons, shows a marked independent zoning of the tides. The lower or southern part of the Mandinga lagoon, away from the mouth of the communication, is dominated by the gravel fraction due to the conchera or oyster extraction zone, as well as the northern part of the La Larga lagoon, in the so-called Conchal area. The middle zone of the system, on the contrary, predominates the muddy sediments that correspond to the Horcones, Mandinga estuaries, La Redonda lagoon and northern Mandinga, but homogeneously represented, the sandy fraction is the main feature of the system.

Keywords: estuaries; mud; organic carbon; sedimentology; textura.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas estuarinos, y en particular los del estado de Veracruz, son ecosistemas de gran biodiversidad y por eso son muchas las riquezas naturales que proporcionan (Dyer, 1990; CONABIO, 2011b, 2013; Moreno-Casasola, 2016), a su vez son frágiles en extremo, por lo cual el asentamiento del hombre en estos sitios o los cambios de usos del suelo (SEMARNAT, 2006; Aldasoro-Said, 2015), es siempre delicado e involucra una presión constante al depositar directa o indirectamente sus desechos tanto urbanos como industriales, con lo que contribuye al detrimento de sus valores ecológicos (Botello et al., 2005, SEMARNAT, 2006).

Los humedales costeros son ecosistemas que comparten algunos rasgos con los ecosistemas terrestres, otros con los ecosistemas acuáticos, y otros más con los ecosistemas marinos, sin pertenecer por completo a ninguno de estos ambientes. Por tratarse de un medio ambiente distinto, además de la enorme relevancia de los manglares, en particular, en cuanto a la provisión de servicios ambientales de defensa contra inundaciones, y dados los actuales procesos de cambio climático global y de desarrollo turístico (CONABIO, 2013; Moreno-Casasola, 2016).

Por estas razones, se han realizado diversos estudios en el estado de Veracruz, México, debido a que sus sistemas lagunares estuarinos presentan gran diversidad relacionada directamente a los pulsos hidrológicos que se presentan en el estado ya que son trascendentes para el desarrollo del ecosistema (Peresbarbosa-Rojas, 2005; Moreno-Casasola, 2006; CONABIO, 2011a, 2011b; 2013; Moreno-Casasola, 2016).

De este tipo de estudios, deben destacarse los sedimentológicos, ya que pueden revelar aspectos como transporte, origen, procesos de deposición, precipitación de agregados minerales, resuspensión y tendencias de flujo. La distribución sedimentaria de las lagunas costeras asociadas con deltas es producto de la interacción compleja entre aguas marinas, aguas continentales, biota e intercambios atmósfera-agua que ocurren en estos sistemas transicionales (Bernal y Betancur, 1996).

Desde el punto de vista ecológico, los sedimentos son uno de los componentes de mayor importancia dentro de los ecosistemas acuáticos porque juegan un papel relevante en el intercambio de sustancias químicas entre las fases particulada, disuelta y biológica. Constituyen trampas naturales de contaminantes, que se van acumulando paulatinamente y, por lo tanto, están biodisponibles para la fauna que habita los cuerpos de agua (Vargas, 2002). Aunque son muy

importantes los estudios que involucren sedimentos, son escasos para el estado de Veracruz, entre ellos se mencionan los de González-Fierro et al. (1994), Vargas (2002), Calva y Torres (2000, 2011).

El sistema lagunar de Mandinga (SLM) es un humedal de gran importancia en el estado de Veracruz tanto económica como biológicamente, por lo que el objetivo de este trabajo fue describir y caracterizar los sedimentos predominantes en el SLM en el periodo 2007-2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

El SLM se encuentra en el municipio de Alvarado, Veracruz, México, entre los 19°00' y 19°06' Norte y 96°02' y 96°06' Oeste, con una orientación norte-sur. La costa cercana adopta una dirección noroeste-sureste, que conforma la punta de Antón Lizardo y colinda al norte con el municipio Boca del Río y al suroeste con Medellín de Bravo. Tiene una longitud aproximada de 20 km y está compuesta por seis cuerpos de agua interconectados: Estero del Conchal (ECH), laguna La Larga (LL), Estero de Horcones (EH), laguna La Redonda (LR), Estero de Mandinga (EM) y laguna de Mandinga (LM) (Fig. 1) (Contreras-Espinosa, 2006; INEGI, 2019; Rodríguez-Varela et al., 2019). Presenta un clima subhúmedo con un régimen pluvial o lluvioso de verano (julio a octubre), una temporada de secas (marzo a junio) y una temporada de nortes (noviembre a febrero) (García, 2004).

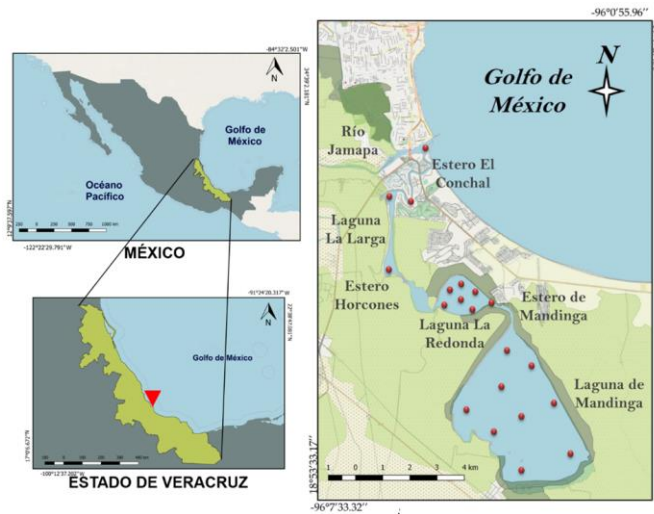


Fig. 1. Localización del SLM y sitios de muestreo/ Fig. 1. Location of MLS and sampling stations.

Se realizaron muestreos en el mes de abril a partir de 2007 hasta 2015. Se hizo un muestreo en agosto de 2008. Se establecieron 20 puntos de recolecta (Fig. 1). En cada sitio de muestreo, se obtuvieron muestras de sedimento usando un nucleador universal WaterMark de 6.8 cm x 7.1 x 120 cm (Poppe et al. 2000, Zaixso, 2002, TEM 2016). Las muestras fueron secadas a temperatura ambiental, molidas con un mortero y tamizadas en seco (100 gramos). Se determinó la cantidad de carbono orgánico total (%), por medio de la técnica de oxidación crómica de Walkley y Black (1934) pasando la muestra de sedimento a través de un tamiz de 0.5 mm de abertura. Para la determinación de las fracciones sedimentarias, se utilizó el método de granulometría de Wentworth (1936) colocando en un agitador mecánico tamices de 2.0 mm para separar la fracción grava, de 0.0625 mm para arena e inferior a esta para lodos. Los resultados se expresaron en porcentaje de sedimento seco y se determinó el tipo de textura (Wentworth, 1936; Poppe et al., 2000; Muñoz-Iniestra et al., 2011).

Para describir los cambios espacio temporales, las variables sedimentarias fueron representadas con isóneas, empleando el método de interpolación geoestadística de Kriging, mediante el programa Surfer V. 8. (Golden Software, 2002). Para determinar diferencias entre los años de estudio, se aplicó un análisis de varianza de un factor y la prueba de Fisher ($\alpha=0.05$) (Zar, 1999).

RESULTADOS

En la [Tabla 1](#) se presentan los valores promedio, mínimo y máximo de cada una de las fracciones y del contenido de carbono orgánico total anual.

Tabla 1. Sedimentos recolectados por año en el SLM. Valores promedio, mínimos y máximos. Las cantidades se expresan en porcentaje (%) / **Table 1.** Sediments collected per year in the SLM. Average, minimum, and maximum values. The amounts are expressed as a percentage (%).

variable	%	2007	2008	2008 agosto	2009	2010	2011	2012	2013	2015
arena	mínimo	29.3	42.29	50.14	20.37	3.85	45.78	24.26	32.72	40.91
	máximo	100	83.09	100	100	73.48	85.81	97.74	83.9	89.39
	promedio	67.20	61.39	68.69	66.5	44.96	65.21	64.87	66.27	65.69
lodo	mínimo	0.0	11.99	0.0	0.0	14026	12.1	2.11	15.98	7.0
	máximo	43.8	56.55	47.3	40.27	57.53	49.58	47.22	44.67	38.44
	promedio	15.13	31.95	23.32	19.79	38.55	26.26	20.84	29.38	25.03
grava	mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0
	máximo	55.40	22.0	30.57	73.53	54.24	39.65	66.22	31.94	32.60
	promedio	12.1	6.38	8.2	13.31	12.38	8.09	12.83	3.55	8.6
COT	mínimo	0.0	0.38	0.0	0.0	0.76	0.39	0.33	0.59	1.07
	máximo	2.24	2.07	2.65	1.51	1.37	3.13	2.12	2.64	2.68
	promedio	1.0	1.22	0.81	0.98	0.98	1.24	1.03	1.79	1.86

Arena

La menor cantidad promedio se registró en 2010 (44.96%) y la mayor cantidad en agosto de 2008 (68.69%). El análisis de varianza demostró diferencias significativas ($p<0,05$) durante los diferentes años muestreados ([Fig. 2](#)).

En 2007 el promedio general fue 67.20%, con un mínimo de 29.30 y un máximo de 100%. En la parte sur de LM y en el este de LR, se registraron entre 29.30 y 52.86%, y promedio de 41.08%. En la parte sureste de LR, en el oeste y sureste de LM y en el sur de LL, se registraron las mayores cantidades, de 76.44 a 100%, con promedio de 88.22%. En las partes este y oeste de LM, se registraron cantidades entre 52.87 y 76.43% y promedio de 64.65% ([Fig. 3A](#)).

En 2008 el promedio general fue 61.39%, con un mínimo de 42.29 y un máximo de 83.09%. En la parte media-oeste de LL, sur de LR y en las porciones este, oeste y sur de LM, se registraron las cantidades menores, de 42.29 a 55.89%, con promedio de 49.09%. En EH las porciones oeste, noroeste y sureste de LR y en la parte suroeste de LM, se registraron las mayores cantidades (de 69.51 a 83.09%, promedio de 76.345%). En las partes noreste de LR, sur de LL y en las porciones media y norte de LM, se registraron cantidades intermedias, entre 55.9 y 69.5%, con promedio de 62.7% ([Fig. 3B](#)).

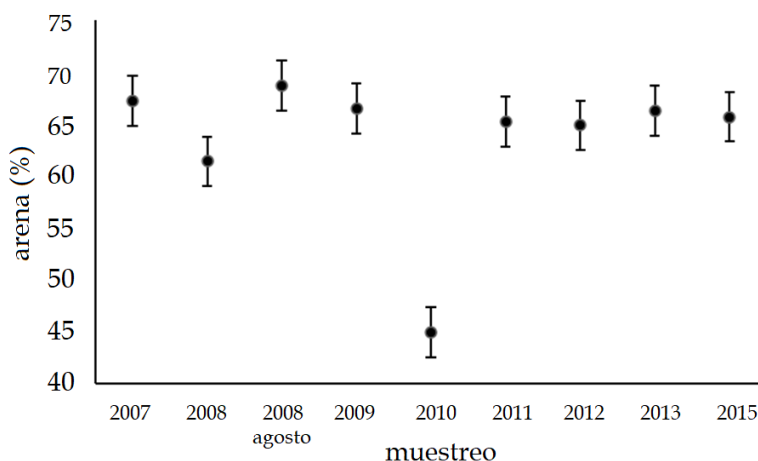


Fig. 2. Promedios por muestreo de la fracción arena (%) definidas para el SLM/ Fig. 2. Sampling averages of the sand fraction (%) defined for the SLM.

En agosto de 2008 el promedio general fue 68.69%, con un mínimo de 50.14 y un máximo de 100%. En la parte media de LL, en la porción norte de LR y en las partes este, oeste y sureste de LM se registraron las menores cantidades (de 50.14 a 66.76% y promedio de 58.45%). En la parte norte de LL y en el suroeste y sureste de LR, se registraron las mayores cantidades, de 83.4 a 100%, con promedio de 91.7%. En la porción sur de LL y LR y en la parte norte y sur de LM se registraron cantidades intermedias (entre 66.77 y 83.39%, con promedio de 75.08%) (Fig. 3C).

En 2009 el promedio general fue 66.50%, con un mínimo de 20.37 y un máximo de 100%. En las partes norte y sur de LM se registraron las menores cantidades (de 20.369 a 46.912%, promedio de 33.64%). En el norte y sur de LL, en el norte y noreste de LR y en la parte central de LM se registraron las mayores cantidades (de 73.457 a 100%, con promedio de 86.728%). En la parte media oeste de LL, en el sur de LR y en las porciones este, oeste y sureste de LM se registraron cantidades intermedias (de 46.913 a 73.456%, promedio de 60.184%) (Fig. 3D).

En 2010 el promedio general fue 44.96% con un mínimo de 3.85% y un máximo de 73.48%. La parte central de LM presentó la menor cantidad de arena, de 3.85 a 27.06%, con un promedio de 15.45%. En el suroeste de LR se registró la mayor cantidad (de 50.28 a 73.48%, con un promedio de 61.87%). En la parte noroeste de LM se registró una cantidad intermedia de arena (entre 27.07 y 50.27%, promedio de 38.66%) (Fig. 3E).

En 2011 el promedio general fue 65.21% con un mínimo de 45.78% y un máximo de 85.81%. Las zonas centro de LR, de la parte norte de LL hasta EEC y la porción este de LM, se registraron las menores cantidades (entre 45.78 y 59.12%, con promedio de 52.45%). Desde EH hasta la parte norte de LL sin abarcarla totalmente y en la parte sureste de LR que conecta con EM, se registraron las mayores cantidades de arena (de 72.47 a 85.81%, con promedio de 79.13%). En la parte norte de LL, LR en la porción oeste de LM, se registraron cantidades intermedias de arena de 59.13 a 72.46% y promedio de 65.79% (Fig. 3F).

En 2012 el promedio general fue 64.87% con un mínimo de 24.26 y un máximo de 97.74%. La parte norte de LR y las porciones noroeste y extremo suroeste de LM registraron las menores cantidades (entre 24.26 y 48.75%, con promedio de 36.50%). En el sureste de LR, una pequeña zona del noroeste y el centro de LM, se registraron las mayores cantidades (entre 73.25 y 97.74%, con un

promedio de 85.49%). En la mayor parte de LR pasando EM hasta el noreste y sureste de LM, se registraron cantidades intermedias, de 48.76 a 73.24 %, con un promedio de 60.99% (Fig. 3G).

En 2013 el promedio general fue 66.27% con un mínimo de 32.72 y un máximo de 83.90%. En la parte sureste de LR se registró la menor cantidad (de 32.72 a 49.78% y promedio de 41.25%). En el extremo central oeste y extremo central este de LR se registraron las mayores cantidades (de 66.85 a 83.90%, con promedio de 75.37%). La parte central oeste de LR registró cantidades intermedias, de 49.79 a 66.84%, con promedio de 58.31%) (Fig. 3H).

En 2015 el promedio general fue 65.69% con un mínimo de 40.91 y un máximo de 89.39%. En la parte sureste de LM se registró la menor cantidad (de 40.91 a 57.07% con promedio de 48.99%). En la parte central de la misma laguna se registraron las mayores cantidades (entre 72.3 y 89.39% con promedio de 80.81%). En la totalidad de la parte norte de LM y la parte sur de LR se registraron cantidades intermedias (entre 57.1 y 72.23%, con promedio de 64.65%) (Fig. 3I).

Lodos

La menor cantidad promedio se registró en 2007 con 15.13% y la mayor cantidad en 2010 con un promedio de 38.55%. El análisis de varianza demostró diferencias significativas ($p < 0,05$) durante los diferentes años muestreados (Fig. 4).

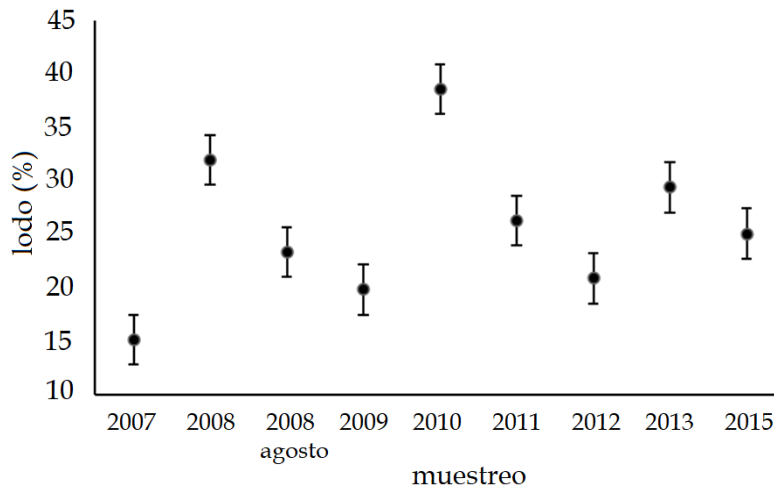


Fig. 4. Promedios por muestreo de la fracción lodo (%) definidas para el SLM/ Fig. 4. Sampling averages of the mud fraction (%) defined for the SLM.

En 2007, el promedio general fue 15.13%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 43.80%. En EM, EH y EEC se registraron las menores cantidades de lodo (de 0.0 a 14.6%, con un promedio de 7.3%). En la parte noroeste de LR se registró la mayor cantidad (entre 29.4 y 44%, con un promedio de 36.7%). En LM y LL se registraron cantidades intermedias, entre 14.7 y 29.3%, con promedio de 22.0% (Fig. 5A).

En 2008 el promedio general fue 31.95%, con un mínimo de 11.99 y un máximo de 56.55%. En EM, EH y EEC se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 14.85% con promedio de 7.42%. En la parte noroeste de LL se registró la mayor cantidad, de 29.72 a 44.57% con promedio de

37.145%. En el centro y hacia las riberas de LL y LM, se registraron cantidades intermedias, de 14.86 a 29.71% y un promedio de 22.285% (Fig. 5B).

En agosto de 2008 el promedio general fue 23.32%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 47.30%. Los esteros EM, EH y EEC registraron las menores cantidades, de 0.0 a 15.76% con promedio de 7.88%. En la parte noroeste LL y el sureste de LM se registraron las mayores cantidades, de 31.54 a 47.3g, con un promedio de 39.42%. Al sur de LR y en LM, se registraron cantidades intermedias, entre 15.77 y 31.53% con promedio de 23.65% (Fig. 5C).

En 2009 el promedio general fue 19.79%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 40.27%. En la parte sur y suroeste de LM y en el este y oeste de LR se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 13.42%, con promedio de 6.711%. En la parte norte de LL se registró la mayor cantidad, entre 26.85 y 40.27% y promedio de 33.56%. Al suroeste de LM y en LR, se registraron cantidades intermedias, de 13.43 a 26.84% con promedio de 20.13% (Fig. 5D).

En 2010 el promedio general fue 38.55%, con un mínimo de 14.26 y un máximo de 57.53%. En la parte central de LM se registraron las menores, de 0.0 a 19.17 con promedio de 9.58%. En LR se registró la mayor cantidad, de 38.35 a 57.53% con promedio de 47.92%. En las partes oeste y noreste de LM se registraron cantidades intermedias, de 19.18 a 38.34% y promedio de 28.76% (Fig. 5E).

En 2011 el promedio general fue 26.26%, con un mínimo de 12.10 y un máximo de 49.58%. Al sureste de LR se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 16.52% y promedio de 8.26%. En la parte norte de LL se registraron las mayores cantidades, de 33.05 a 49.58%, con un promedio de 41.31%. Al suroeste de LM y al este de LR se registraron cantidades intermedias, de 16.52 a 33.05% con un promedio de 24.79% (Fig. 5F).

En 2012 el promedio general fue 20.84% con un mínimo de 2.11 y un máximo de 47.22%. En la parte central de LM se registraron las menores cantidades, de 2.1 a 17.14% con promedio de 9.62%. En la parte sur de LM y en la parte norte de LR se registraron las mayores cantidades, de 39.19 a 47.22% con promedio de 39.71%. Hacia el oeste de LM se registraron cantidades intermedias, de 17.15 a 32.18% con promedio de 24.67% (Fig. 5G).

En 2013 el promedio general fue 29.38%, con un mínimo de 15.98 y un máximo de 44.67%. En la parte norte de LM y en el sur de LR se registraron las menores cantidades, de 15.98 a 25.54% y promedio de 20.76%. En la parte suroeste de LM y en la parte norte de LR se registraron las mayores cantidades, de 35.2 a 44.67% con promedio de 39.94%. La parte norte de LM y al sur de LR se registraron cantidades intermedias, de 25.55 a 35.1% con promedio de 30.33% (Fig. 5H).

En 2015 el promedio general fue 25.03% con un mínimo de 7.0 y un máximo de 38.44%. Al sureste y centro de LM se registró la menor cantidad de lodo, de 7.0 a 17.49 % con promedio de 12.25%. En la norte de LM y sur de LR se registraron las mayores cantidades, de 28.0 a 38.44% con promedio de 33.23%. En las partes este y oeste de LM se registraron cantidades intermedias, de 17.5 a 27.98% con promedio de 22.74% (Fig. 5I).

Grava

La menor cantidad promedio de grava se registró en 2013 con 3.55% y la mayor cantidad en 2009 con un promedio de 13.31%. El análisis de varianza no demostró diferencias significativas ($p>0,05$) durante los diferentes años muestreados (Fig. 6).

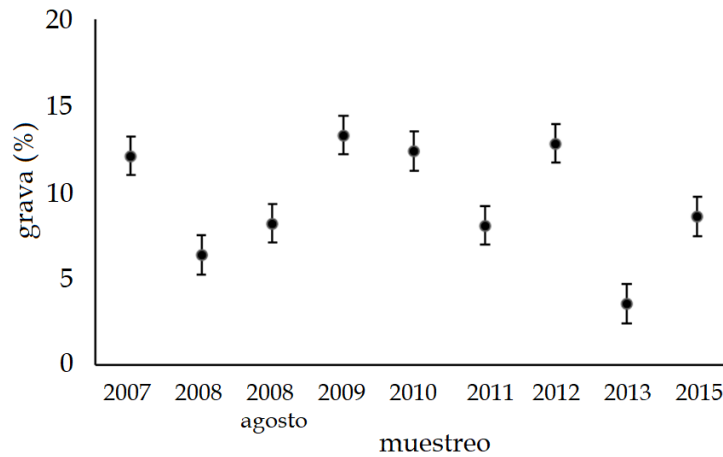


Fig. 6. Promedios por muestreo de la fracción arena (%) definidas para el SLM/ Fig. 6. Sampling averages of the gravel fraction (%) defined for the SLM.

En 2007 el promedio general fue 12.10%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 55.40%. En la parte este y oeste de LM, al este de LR y en LL se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 18.47% con promedio de 9.23%. En la parte sur de LM se registraron las mayores cantidades, de 36.93 a 55.40% con promedio de 46.16%. Al sur de LM se registraron cantidades intermedias, de 36.93 a 18.47 % con promedio de 27.70% (Fig. 7A).

En 2008 el promedio general fue 6.38%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 22.0%. En la parte oeste de LM, al este de LR y al norte de LL se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 7.33% con promedio de 3.66%. Al sureste de LM se registraron las mayores cantidades, de 14.66 a 22.0% con promedio de 18.32%. En la parte central de LM, oeste de LR y centro de LL se registraron cantidades intermedias, de 7.33 a 14.66% con promedio de 10.99% (Fig. 7B).

En agosto de 2008 el promedio general fue 8.20%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 30.57%. En la parte norte de LM, este de LR y en LL se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 10.19% con promedio de 5.09%. Al sur de LM y suroeste de LR se registraron las mayores cantidades, de 20.38 a 30.57% y promedio de 25.47%. En las partes centrales de LM y LR se registraron cantidades intermedias, de 10.19 a 20.38% con promedio de 15.28% (Fig. 7C).

En 2009 el promedio general fue 13.31%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 73.53%. En la parte norte de LM y LR se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 24.51g, con un promedio de 12.52%. En la parte sur de LM se registraron las mayores cantidades, de 49.02 a 73.524% y un promedio de 61.27%. En el centro de LM se registraron cantidades intermedias, de 24.51 a 49.02% y promedio de 36.76% (Fig. 7D).

En 2010 el promedio general fue 12.38%, con un mínimo de 0.06 y un máximo de 54.24%. En la parte norte de LM se registraron las menores cantidades, de 0.06 a 18.08% con promedio de 9.04%. En la parte central de LM se registraron las mayores cantidades, de 36.16 a 54.24% y promedio de 45.2%. En el sur de LM se registraron cantidades intermedias, de 18.08 a 36.16% con promedio de 27.12% (Fig. 7E).

En 2011 el promedio general fue 8.09%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 39.65%. En el suroeste de LM se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 13.22% con promedio de 6.61%. En

la parte noreste de LM se registraron las mayores cantidades, de 24.46 a 39.65% con promedio de 32.05%. En LR se registraron cantidades intermedias, de 14.22 a 23.46% y promedio de 18.84% (Fig. 7F).

En 2012 el promedio general fue 12.83%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 66.22%. En la parte sur de LM y en LR se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 22.07% con promedio de 11.03%. En la parte noroeste de LM se registraron las mayores cantidades, de 45.14 a 66.22% con promedio de 55.68%. Al este de LM se registraron cantidades intermedias, de 23.07 a 44.14% y promedio de 33.60% (Fig. 7G).

En 2013 el promedio general fue 3.55%, con un mínimo de 0.0 y un máximo de 31.94%. En la parte norte de LM y en LR se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 10.65% con promedio de 5.32%. En el sureste de LM se registraron las mayores cantidades, de 21.30 a 31.94%, con un promedio de 26.62%. En la parte central de LM se registraron cantidades intermedias, de 11.65 a 21.30% y promedio de 16.47% (Fig. 7H).

En 2015 el promedio general fue de 8.60% con un mínimo de 0.30 y un máximo de 32.60%. En la parte sur de LR y todo el noroeste, norte y parte central de LM se registraron las menores cantidades, de 0.3 a 11.07% con promedio de 5.69%. Del suroeste hasta el sureste de la misma laguna (LM) se registraron las mayores cantidades, de 21.9 a 32.60% con un promedio de 27.22%. La parte este de LM registró cantidades intermedias, de 11.1 a 21.84% y un promedio de 16.46% (Fig. 7I).

Carbono orgánico Total (COT)

La menor cantidad promedio de COT se registró en agosto de 2008 con 0.81% y la mayor cantidad en 2015 con un promedio de 1.86%. El análisis de varianza demostró diferencias significativas ($p < 0,05$) durante los diferentes años muestreados (Fig. 8).

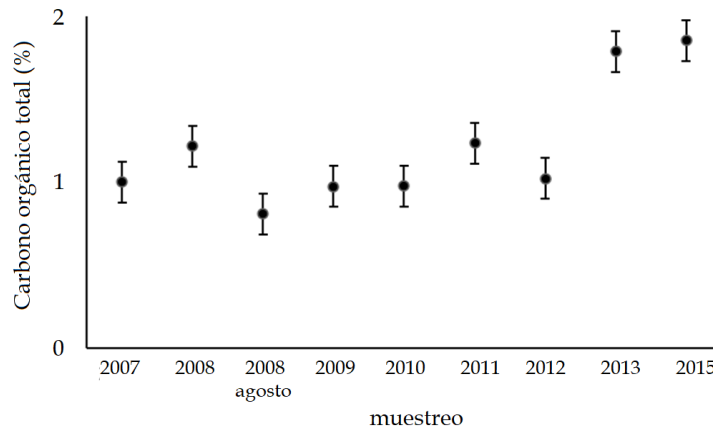


Fig. 8. Promedios por muestreo de carbono orgánico total (%) definidos para el SLM/ Fig. 8. Sampling averages of total organic carbon (%) defined for the SLM.

En 2007 el promedio general fue 1.00%, con un mínimo de 0.0% y un máximo de 2.24%. En el sureste y centro de LM, al suroeste de LR y en EH se registraron los porcentajes menores, entre 0.4 y 1.01% con promedio de 0.79%. Hacia el sureste de LM y noroeste de LR se registraron los porcentajes mayores, de 1.64 a 2.24 % con promedio de 1.71%. En las partes noreste y centro de LM,

centro y sur de LR y sur de LL se registraron cantidades intermedias, de 1.02 a 1.63% y promedio de 1.36% (Fig. 9A).

En 2008 el promedio general fue de 1.22%, con un mínimo de 0.38% y un máximo de 2.07%. En LM, al sur de LR y noreste de EC se registraron las menores cantidades, de 0.38 a 0.94% con promedio de 0.73%. En el centro de LM, noreste de LR, en EH, sur LL y sur de EC se registraron las mayores cantidades, de 1.52 a 2.08% con promedio de 1.82%. En el sur y centro de LM, LR y al norte de LL se registraron cantidades intermedias de 0.95 a 1.51% y promedio de 1.19% (Fig. 9B).

En agosto de 2008 el promedio general fue de 0.81%, con un mínimo de 0.0% y un máximo de 2.65%. En la parte sur, este y norte de LM, sur y centro de LR, en LL y en EC se registraron las menores cantidades, de 0.0 a 0.88% con promedio de 0.52%. En el EH se registró la mayor cantidad, de 1.78 a 2.7% con promedio de 2.65%. En el centro LM y norte de LR se registraron cantidades intermedias, de 0.89 a 1.77% con promedio de 1.26% (Fig. 9C).

En 2009 el promedio general fue de 0.98%, con un mínimo de 0.0% y un máximo de 1.51%. En EC se registraron las menores cantidades de 0.0 a 0.50% con promedio de 0.15%. En LM, LR, EH y sur de LL se registraron las mayores cantidades, de 1.01 a 1.51% con promedio de 1.25%. En la parte sur y norte de LM, sur de LR y en LL se registraron cantidades intermedias, de 0.50 a 1.01% con promedio de 0.71% (Fig. 9D).

En 2010 el promedio general fue de 0.98%, con un mínimo de 0.76 % y un máximo de 1.37 %. En la parte norte de LM y sureste LR se registraron las menores cantidades, de 0.76 a 0.96% con promedio de 0.87%. En la parte norte de LR se registraron las mayores cantidades, de 1.18 a 1.37% con promedio de 1.38%. En la parte norte de LM y suroeste de LR se registraron cantidades intermedias, de 0.97 a 1.17% con promedio de 1.06% (Fig. 9E).

En 2011 el promedio general fue de 1.24%, con un mínimo de 0.39% y un máximo de 3.13%. En LM, centro y suroeste de LR, EH y EC se registraron las menores cantidades, de 0.39 a 1.3% con promedio de 0.79%. En la parte sureste de LR y el sur de LL se registraron las mayores cantidades, de 2.23 a 31.3% con promedio de 2.59%. En la parte sureste y centro de LM, norte de LR y en LL se registraron cantidades intermedias, de 1.31 a 2.22% y promedio de 1.56% (Fig. 9F).

En 2012 el promedio general fue de 1.03%, con un mínimo de 0.33 % y un máximo de 2.12%. En LM, sur de LR y EC se registraron las menores cantidades, de 0.33 a 0.92% y promedio de 0.71%. En la parte norte de LR se registraron las mayores cantidades, de 1.53 a 2.12% con promedio de 2.12%. En la parte sureste y norte de LM y este de LR se registraron cantidades intermedias, de 0.93 a 1.52% y promedio de 1.19% (Fig. 9G).

En 2013 el promedio general fue de 1.79%, con un mínimo de 0.59% y un máximo de 2.64%. Del sureste al noreste de LM y norte y suroeste de LR se registraron las menores cantidades, de 0.59 a 1.27% con promedio de 0.805%. En la parte este y norte de LM, sureste de LR y en EH se registraron las mayores cantidades, de 1.97 a 2.64% y promedio de 2.23%. No se registraron cantidades intermedias (Fig. 9H).

Finalmente, en 2015 el promedio general fue de 1.86% con un mínimo de 1.07% y un máximo de 2.68%. En la parte sureste de LM se registraron las menores cantidades, de 1.07 a 1.61%, con un promedio de 1.34%. Las partes central y oeste de LM registraron las mayores cantidades, de 2.16 a 2.69% y promedio de 2.43%. Las porciones este y norte de LM y sur de LR registraron las cantidades intermedias, de 1.62 a 2.15% con promedio de 1.89% (Fig. 9I).

DISCUSIÓN

Arena

El promedio general de arena en SLM fue 63.42%, las cantidades más bajas se localizaron en la parte norte de LM y en casi toda la laguna LR, mientras que las cantidades más altas se observaron en la región sur de LM y LL y fue un sedimento homogéneamente distribuido en todo el SLM con cantidades mayores a 60% a lo largo del estudio. Reyes (2011), reportó un promedio mínimo de 42.29% y un promedio máximo de 83.09% en LL, indicando que la arena fue el tipo de sedimento predominante en toda la laguna, por ello la definición de una textura arena-gravosa-lodosa o areno-lodosa o más concluyente con este estudio, el SLM presenta una textura de tipo arenoso-lodoso con huellas de grava (Poppe et al, 2000; Muñoz-Iniestra et al., 2011).

El tamaño de las partículas de arena es de gran importancia para los animales bentónicos, principalmente para algunas de las formas más pequeñas que se alimentan de zooplancton, existiendo un límite en cuanto al tamaño de los organismos que pueden ingerir; por otra parte las partículas grandes (grava) pueden dificultar los movimientos de la infauna, determinando además el grado de oxigenación, lo que puede limitar el desarrollo de ciertas formas enterradas y se ha demostrado que la naturaleza del sustrato determina de forma directa la composición de la fauna de fondo; por ejemplo cuando los procesos de interacción sedimento-agua son esenciales para la abundancia de huevos debido a la distribución de nutrientes y su aprovechamiento óptimo (Álvarez y Rodríguez-Almaraz, 2008). Al respecto Rodríguez-Varela et al. (2019), observaron que las mayores capturas de organismos se obtuvieron en la zona norte de LM, la totalidad de LR y los esteros EH y EM que la rodean, donde se presentan en grado significativo arenas y lodos.

En contraste Márquez et al. (1996), indican que la composición de los ríos (Jamapa y Atoyac) y arroyos (Suchiapa y Seca en Yanga) que surten al SLM, explica la estructura de los sedimentos en la zona; los mismos autores determinaron una composición predominantemente arenas-gravas-lodos y argumentan que estos sedimentos son arrastrados corriente abajo a una velocidad de 0.5 m/s, la cual va disminuyendo hacia la planicie costera, otorgándole a LM características de tamaños gruesos, lo que concuerda con lo observado en el presente trabajo (promedio máximo 68.69% registrado en 2008). El aumento en el promedio general de arena en agosto de 2008 respecto a lo registrado en época de secas refuerza el hecho que la presencia de arena en LM se debe en gran parte a las aportaciones de los sistemas dulceacuícolas.

Se observó una relación negativa entre arena y carbono orgánico total a través del tiempo (muestras de 2007 a 2013), Calva y Torres-Alvarado (2000), mencionan que esta relación está influenciada por el tamaño de grano de los sedimentos; por lo que entre mayor sea el tamaño de grano, menor será la cantidad de materia orgánica acumulada, hecho que causa que las fracciones representadas por el limo y las arcillas tengan aproximadamente 28 veces más contenido de carbono orgánico que la fracción arenosa (Calva y Torres-Alvarado, 2000; Meyers y Teranes, 2001). Márquez et al. (1996), mencionan que en la laguna Pueblo Viejo, Veracruz, la disposición de los sedimentos está estrechamente influida por la dirección de las corrientes que producen el transporte en ese sentido creando condiciones de alta energía, lo que induce el depósito de material grueso como la arena en las zonas proximales a la boca de la laguna. En SLM las corrientes se dirigen al suroeste con una velocidad media de 14.22 m/s.

En los muestreos de 2008 se observó que la zona con mayor cantidad de arena fue el suroeste de LR y LM. En 2010 y 2013 las zonas con mayor cantidad de arena se observaron en el suroeste de LR, y en los años 2009, 2011 y 2015 la mayoría de las zonas con mayor cantidad de

arena se observan principalmente al suroeste de LM; al respecto Calva-Benítez y Torres-Alvarado (2011), determinaron una situación atípica en la distribución espacial promedio de sedimentos en la laguna Alvarado; observaron una homogeneidad en las diferentes porciones del sistema, lo que fue interpretado como una falta de entrada de sedimentos arenosos que podría estar relacionada con la entrada de agua marina, ya que de manera general las arenas son el componente dominante en la mayoría de las lagunas costeras del golfo de México. Sin embargo, se observaron algunas zonas con altas cantidades de arena en la zona proximal de la boca del sistema generalmente en LL, lo que es similar a lo observado por Olivas et al. (1996), quienes mencionan que la zona proximal de la laguna costera El Soldado (Sonora, México), está caracterizada por arena mediana con una sola variante de arena gruesa, es decir, que los sedimentos gruesos permanecieron cerca de la boca de la laguna.

La cantidad de arena registrada en 2008 fue 61.39% en promedio, mientras que en agosto se registró un promedio de 68.69% lo que indica que la concentración del sedimento arenoso no tiene relación con la temporada climática, como lo menciona Reyes (2011), quien tampoco observó una relación entre el arrastre de sedimentos por la escorrentía en lluvias y su patrón de distribución sedimentaria.

Es importante señalar la disminución de 68.69% en agosto de 2008 hasta 44.96% en 2010, que es el único año en el que se registró una baja cantidad y su posterior restablecimiento en los siguientes años a cantidades homogéneas de más de 60%. Esto es debido a los efectos del dragado que se realizó en 2010 en LL. Esta actividad se realiza periódicamente, ya que se tienen indicios de que se ha practicado en 1980, en 2010 y el más reciente en 2018. Dicha acción es característica en estos tipos de sistemas con comunicación al mar para prevenir su azolvamiento.

Los dragados consisten en la extracción del sedimento, transporte y deposición fuera de los cuerpos de agua. En el caso del SLM, el dragado realizado en 2010 en LL provocó la disminución del componente arena y el aumento de la fracción lodo y baja transparencia (Landeta, 1998; Botello et al., 2005; SEMARNAT, 2006; Brea y Balocchi, 2011; Escalante, 2019).

Lodo

En 2007 la mayor cantidad se registró en la porción noroeste de LR (promedio de 22%), Chávez-López y Álvarez-Arellano (2006) registraron una variación en los sedimentos y los clasificaron en dos grupos; partículas del tamaño de arena (subdividiéndose en arena y arena-limosa) y partículas del tamaño de limo-arcilla (subdividiéndose en limo-arenoso y limo-lodoso). Estos autores mencionan que ello está relacionado con los diferentes grados de energía y mecanismos de transporte. Para las partículas del tamaño de limo y arcilla, las consideran como un caso particular puesto que una vez depositadas requieren de velocidades de corriente más altas que las de su transporte para ser erosionadas, debido a sus características de plasticidad y cohesividad, lo que explica su alto contenido de conchas y fragmentos de estas en los ambientes de baja energía. Los resultados registrados para la cantidad de lodo contrastan con los registrados para la batimetría de SLM para ese año, puesto que la zona con mayor profundidad fue LL (promedio de 298.34 cm).

La batimetría es un factor importante para los procesos sedimentológicos, Pérez et al. (2006), establecen que en los sedimentos superficiales de la laguna Chacopata existe una mayor cantidad de partículas clasificadas como guijas (>3 mm), gránulos de (2-3 mm), arena muy fina (0.125-0.063 mm) y lodos (<0.063 mm), estos autores infieren que se debe a la extracción de organismos bentónicos con rastras artesanales en la zona, causando una resuspensión de partículas y organismos enterrados que pueden ser transportados por las corrientes marinas y los ambientes

de depositación, así la interacción de las corrientes y las corrientes batimétricas de una laguna conducen a la deposición de las partículas. Se ha indicado que los sedimentos más finos se depositan en ambientes que no son afectados por las corrientes de transporte.

En la temporada de secas de 2008, LL presentó la mayor cantidad de lodo (promedio de 37.14%), las zonas que presentaron una menor cantidad fueron EH, EM y EC, lo que contrasta con los resultados obtenidos para arena, puesto que la cantidad mayor se encontró en la parte oeste de LR mientras que la zona sur de LM presentó la cantidad mayor de grava. Chávez-López y Álvarez-Arellano (2006) y Aldasoro-Said (2015) observaron que los patrones de sedimentos están determinados y en constante relación con las características morfológicas, batimétricas, material sedimentario y los agentes dinámicos, puesto que las lagunas costeras son ambientes que se encuentran en constante contacto con el mar y las fluctuaciones de los ambientes marinos permiten el carácter poligénico de los sedimentos, así mismo este carácter poligénico de los sedimentos está relacionado con el suministro de los sedimentos y a los cambios de las condiciones de energía.

En SLM la variación en la distribución de los sedimentos se puede atribuir a procesos de erosión, deposición y trayectoria de la corriente de flujo. Los resultados que se obtuvieron para esta temporada muestran que las zonas con una mayor cantidad de lodo fueron la parte noroeste de LL y la porción sureste de LM (promedio de 39.42%).

Contrastando con los resultados registrados para profundidad en 2008, la mayor profundidad fue la zona centro de LM y la zona con menor profundidad fue LL (promedio de 131 cm). Así mismo se observan diferencias respecto a la cantidad de arena. La zona con mayor cantidad fue la parte sur de LR que se conecta con el norte de LM, mientras que los resultados de gravas muestran que la zona con una mayor cantidad fue el sur de LM y el suroeste de LR.

Se puede deducir que en SLM se observa un fenómeno de desplazamiento en la deposición de los sedimentos y grandes fluctuaciones en la profundidad, por lo que los resultados obtenidos en época de lluvias difieren respecto a los otros muestreos que fueron realizados en temporada de secas.

En 2009 la mayor cantidad de lodo se registró en la zona norte de LL (40%), le siguieron la parte sureste de LR y el sureste de LM, el promedio de lodo (19.79%) de SLM fue bajo en comparación con la arena (promedio de 66.5%), la que domina el sedimento, por lo que la textura del sedimento fue arenosa y en algunas excepciones, arenosa lodosa.

Es importante mencionar que las zonas con mayor cantidad de arena son contiguas a las zonas con mayor cantidad de lodo. En el sur y este de LM se registró una de las mayores profundidades, lo que puede ser un factor importante para la acumulación de lodos.

La concentración mayor de oxígeno disuelto se registró en la porción noroeste de LR, en donde se registró la cantidad menor de lodo, por lo que dicha relación es inversamente proporcional. Wells (1995), Reed y Wells (2000) y Cupul-Magaña et al. (2006), mencionan que el arrastre de sedimento es mayor en la zona de desembocaduras y Chávez-López y Álvarez-Arellano (2006) y Aldasoro-Said (2015), manifiestan que las bocas de comunicación, son zonas donde ocurren fluctuaciones marinas debido a su cercanía al mar, por lo cual los patrones de sedimentación están sujetos a dichos cambios, lo que fue observado en la presente investigación, ya que en la totalidad de LL, pero principalmente es su parte norte, se presentan los principales cambios temporales.

La mayor cantidad de lodos registrada en 2010 fue en la zona centro-sur de LR; seguida por el noreste y noroeste de LM. La textura del sedimento fue del tipo arena lodosa, la cantidad de lodos y de arenas fueron similares en la mayor parte de las estaciones, debido a que la mayor cantidad de lodos se encuentra en las zonas más someras, esto puede ser atribuido al oleaje, ya que las olas pueden penetrar al interior del sistema y levantar el sedimento, Morales et al. (1988), refieren que para que ocurra la suspensión de partículas, se necesita de una profundidad de 80 cm. La profundidad mínima registrada en LM fue 100 cm, Wells (1995), Reed y Wells (2000) y Cupul-Magaña et al. (2006), observaron que en este tipo de sistemas lagunares ocurren procesos pluviales y se observa una disminución de lodo en las partes más cercanas al mar.

Como se mencionó anteriormente, la LL estaba siendo dragada, lo que causó la resuspensión de sedimentos que puede conllevar a efectos tóxicos que pueden afectar desde el nivel celular del organismo hasta el nivel de población y/o comunidad, incluyendo al ser humano (Quiala et al., 2015). Esta actividad, es posiblemente uno de los factores de mayor cambio a través del tiempo que ha presentado la microcuenca de Mandinga (Aldasoro-Said, 2015).

Asimismo, en este año por efectos del dragado, la fracción de arena característica en el SLM registró la menor cantidad (44.96%).

Para el año 2011 la zona con mayor cantidad de lodos fue LM, con un máximo de 45% en la porción este del sistema. La textura fue arena-gravosa-lodosa y arena lodosa con huellas de grava en su mayor parte. La menor profundidad (60-80 cm) se registró en la porción este de LM, donde se presentó una mayor cantidad de lodos, esto puede ser atribuido al efecto del oleaje sobre el sedimento al re suspender sus partículas (Morales et al., 1988), en esta parte se registraron olas medianas y grandes.

En agosto de 2008 que corresponde a la temporada lluviosa y en 2012, el patrón de sedimentación fue semejante, por lo que se evidencia que la distribución de lodo no tiene relación con la temporada lluviosa y la mayor cantidad se encontró en la parte sur de LM y el norte de LR. En la parte norte de LM y parte sur de LR se registró una profundidad promedio de 165 cm; Morales et al. (1988), mencionan que la influencia del oleaje comienza a manifestarse a una profundidad menor de 80 cm, lo que limita el depósito de lodo y permite el depósito de arena; lo que explica la predominancia de arena en la parte norte de LM y sur de LR. Es importante señalar que después del año del dragado en LL, se restablecieron las cantidades de la fracción arena y características del SLM (por arriba de 60%).

En 2013 la parte suroeste de LM y porción norte de LR presentaron la mayor cantidad de lodo (promedio de 39.93%) y a excepción de las partes este y oeste de LM y parte sureste de LR, en el sistema se presentaron las cantidades más bajas de arena con un promedio de 75.37%. Vargas (2002) menciona que este sistema lagunar presenta tres tipos de sedimento, predominando el lodo (limos y arcillas) en la mayoría de las estaciones, mientras que las gravas son el sedimento menos abundante. En el presente trabajo se observó que la grava fue el sedimento con menor presencia en el sistema y regionalizada hacia el sur de la LM y norte de la laguna LL predominando las arenas sobre el lodo.

En 2015 la mayor cantidad se presentó al sureste y norte de LM y al sur de LR y la menor cantidad en la parte central de LM. La mayor cantidad de lodo es explicada por el patrón típico de un sistema en su parte media, donde se concentra la cantidad de sedimentos lodosos por efecto de corrientes (Flemming, 2011), a la influencia del aporte del río Horcones que influye sobre el EH para descargar hacia LR y por las corrientes marinas.

En este año se presentaron vientos del sur y por consecuencia las corrientes tuvieron orientación hacia el norte, lo que explica el flujo de sedimentos. Cabral (2007) reportó la influencia del viento durante temporada de secas en la laguna costera de Sontecomapan, Veracruz; concluyó que la proporción de lodo está fuertemente relacionada con el viento. Arias (1998) registró un patrón de distribución de sedimentos del tipo lodoso (arcillas y limos) con tendencia a depositarse en la parte occidental de la laguna, en la laguna Camaronera de Alvarado, Veracruz, esto es influenciado por un ambiente de menor energía, ya que al este de esa laguna se encontraban dos canales que permitían el flujo directo de agua a la laguna. El mismo autor registró sedimentos del tipo arenoso mezclado con arcillas cerca de estos canales. Esto apoya el hecho de que, al no existir contacto directo entre el SLM y el mar, las corrientes no influyen tanto en la estructuración de los lodos como los vientos, que son los causantes de la distribución y dirección de estos.

Gravas

Se observó que la cantidad de grava es menor respecto a la arena y lodo y con una marcada regionalización hacia la parte media y sur de LM y norte de LL. Arreguín-Sánchez (1982), observó que en SLM son abundantes los sustratos de grano fino como limos y arcillas y que en algunas zonas se encuentran combinados con grava (derivada de la acumulación de restos de organismos principalmente conchas de moluscos).

LM registró la mayor cantidad de grava en 2009, en el suroeste de LM se presentó el valor más alto (73.52%), mientras que la cantidad de arena y lodo fueron menores. En el mismo año la corriente presentó una velocidad media de fondo de 71.07 m/s con dirección hacia el sur del sistema. Brea y Balocchi (2011) establecen que la acumulación de los sedimentos depende de las velocidades de corriente, y para desplazar sedimentos como la grava se necesita mucha energía, la cual en un sistema lagunar no se presenta con frecuencia, a excepción de los casos de tormenta, lo que aumenta el flujo de agua, profundidad y velocidad de corriente, por lo cual la regionalización que presenta la fracción gravas en el SLM, es resultado de los agregados y acumulación de las conchas como resultado de las actividades pesqueras, principalmente ostrícolas, lo anterior fue observado por Aldasoro-Said (2015). Arias (1998) afirma que estos factores son de suma importancia en la dispersión de los sedimentos.

Se obtuvieron 9.49% de gravas, 63.42% de arenas y 25.58% de lodos, lo que es similar a lo reportado por Gutiérrez-Estrada et al. (1981), quienes calcularon que solo 7% de todos los sedimentos presentes en un sistema lagunar son gravas, los que son aportados por los bancos de almejas y ostiones; esto es de especial importancia si se contemplan las actividades humanas en la zona, que se concentran en la pesca de peces, crustáceos y moluscos bivalvos; estos autores afirman que las actividades antropogénicas modifican la textura de los sedimentos, lo que explica una mayor cantidad de grava en las orillas, especialmente al sur de LM y al norte en el ESCH y de ahí su nombre, puesto que en estas zonas existe importantes asentamientos humanos dedicados a la extracción de ostión principalmente.

De manera general el patrón de sedimentación del SLM presentado en este estudio permite distinguir las tres zonas básicas y características de este tipo de sistemas estuarino-lagunares y confirmado en numerosos estudios (Nichols, 1972; Clifton, 1982; Nichols et al., 1991; Dalrymple et al., 1992; Flemming, 2011): una zona sur o alejada de la boca de comunicación donde influyen más los procesos antropogénicos, una zona media dominado por una mezcla intensa de agua salada y agua dulce y una zona superior en contacto con el mar mediante la boca de comunicación afectada por la acción diaria de las mareas.

Como consecuencia de estos procesos la parte sur de LM o la zona más baja, generalmente se compone de sedimentos relativamente gruesos (es decir arenas, conchas y principalmente gravas terrígenas), los sedimentos que forman las zonas medias (o centrales) en contraste, están dominados por sedimentos fangosos, es decir mezclas de arena y lodo, que cambian o se sustituyen rápidamente desde las arenas fangosas cerca de las transiciones hacia las zonas inferiores y superiores, hasta lodos arenosos y lodos puros en lugares más céntricos o sin movimiento aparente.

La deposición preferencial de lodo en las secciones medias es el resultado de una mayor floculación, coagulación y agregación de la materia suspendida debido a la mezcla de agua salada y agua dulce, lo que promueve la actividad microbiana de la arena de alto contenido de materia orgánica (Syvitzki, 1991; Flemming, 2011).

El límite de deposición de lodo es el punto hasta el cual el máximo de turbidez migra durante la fase de inundación de la marea y generalmente coincide con el límite máximo de intrusión de agua de mar. De manera inversa el límite aguas abajo está determinado por el punto alcanzado por el máximo de turbidez en el curso de la marea descendente, y comúnmente se ubica a cierta distancia de la boca del río (Flemming, 2011). En este caso los diferentes esteros como EH, EM y el río Atoyac al sur de LM. En contraste con esto, los sedimentos de la LL y el estero EC hasta la parte norte de la LM; es decir, la parte superior del sistema está dominado por arenas y gravas de origen fluvial (terrígeno). Debido a la ausencia de procesos de mezcla y de formación de agregados asociados en los estuarios superiores, el sedimento suspendido transmitido por el río generalmente se dispersa y por lo tanto se resuspende fácilmente después de cortos períodos de deposición intermitente (Dyer, 1995; Eisma, 1997; Flemming, 2011).

Es común encontrar que en los sistemas lagunares-estuarinos la composición y disposición de los sedimentos se atribuye primordialmente al aporte de partículas de origen fluvial provenientes de cuenca arriba; al respecto Arreguín-Sánchez (1982) menciona que durante la temporada de secas, el hecho de que el aporte del río Jamapa sea escaso y que los esteros funcionen como una semi-barrera física hacia las corrientes que vienen del mar, determina en gran medida que en el SLM el recambio de los sedimentos finos se vea reducido, en comparación a los valores registrados en época lluvia y/o nortes.

Sin embargo, dicho sistema cuenta con ciertas características hidrográficas que merecen ser detalladas; Reyes (2011) determinó que el patrón de composición y distribución de los sedimentos en el SLM no está directamente en función del aporte fluvial, sino que al tratarse de un cuerpo de agua semi-cerrado que no recibe aportes de agua de gran relevancia, la composición del material depende en gran medida de los procesos internos del sistema y no precisamente a algún tipo de estacionalidad.

El patrón de sedimentos observado en el presente estudio podría deberse a que las partículas finas no requieren de tanta energía para ser transportadas por las corrientes generadas en el mismo sistema (Arche, 1992). Este patrón coincide con lo observado por Capallera et al. (2012), quienes registraron una gran cantidad de limos y arcillas orgánicas dentro y en la periferia del SLM, sin embargo, dichos autores lo atribuyeron a la presencia de la vegetación sumergida y circundante del SLM ya que esta funciona como trampa de partículas, situación que puede también presentarse en este sistema.

Por otro lado, los sedimentos de mayor tamaño (grava) se registraron con proporciones relativamente bajas y con una disposición restringida hacia la parte sur de LM. Lo anterior

concuerta con Arreguín-Sánchez (1982) quien indica que gran parte de la laguna de Mandinga se caracteriza por su contenido de material gravoso, compuesto por restos de almejas.

Es importante señalar, que el patrón característico de la fracción de arena también cambia por efecto de la actividad del dragado realizado en 2010, que es el año cuando se registró la menor cantidad y la mayor cantidad de lodo, y una vez pasado su efecto las cantidades características por arriba del 60% se vuelven a registrar.

COT

Los valores promedio de COT registrados fueron más bajos que los reportados en literatura, excepto en 2013 y 2015. Calva-Benítez y Torres-Alvarado (2011) reportaron un promedio de 1.64% en época de secas y 1.66% en época de lluvias en el sistema lagunar de Alvarado. Las zonas con mayor porcentaje de COT se registraron en LR, Calva-Benítez y Torres-Alvarado (2011) registraron un mayor porcentaje de carbono orgánico en las zonas donde el intercambio de agua es menor y con mayor aporte alóctono.

En todos los años de muestreos, la concentración de COT fue mayor en las estaciones ubicadas en LM (más alejadas de la influencia marina) y sólo en la estación 20, donde existe una desembocadura al mar el promedio fue más bajo (0.59%). Poppe et al. (2000), argumentan que el contenido de carbono orgánico es mayor en zonas alejadas del mar y va decayendo hacia las porciones con influencia marina, sin embargo en la temporada de lluvias de 2008 la concentración de carbono orgánico disminuyó en todas las estaciones, esto se debe a que durante la temporada de lluvias el aporte de material vegetal y animal es mayor debido a que es arrastrado a través de las corrientes hacia el sistema lagunar de origen alóctono (González-Fierro et al., 1994).

En las estaciones ubicadas en LR, EH y EM, se presentaron los valores mayores de COT en todos los años considerados, esto se debe a que reciben un posible aporte de materia orgánica del río Jamapa el cual se une a SLM en la parte norte, en EEC y por el EH. Calva-Benítez y Torres-Alvarado (2011) reportaron un incremento de carbono orgánico en zonas con aporte de agua del río Papaloapan; por otra parte, la forma característica de EEC impide que el carbono orgánico sea arrastrado fácilmente hacia el SLM.

Los autores antes citados reportaron incrementos de carbono orgánico en las zonas costeras en época de nortes lo cual podría explicar su aumento en 2013 y principalmente en el año 2015, donde no se pudo realizar todo el muestreo de LL y parte de LR por este tipo de evento y que evidencian estos autores, pasando de pobre a moderadamente pobre (Muñoz-Iniestra et al., 2011); por su parte Galindo-Bect et al. (1999), mencionan que la salinidad tiene una relación inversamente proporcional al porcentaje de carbono orgánico, es decir que a menor salinidad mayor porcentaje de carbono orgánico total.

Este comportamiento es similar a lo observado en el presente estudio pues se presentaron salinidades relativamente altas y cantidades bajas de carbono orgánico (años 2007-2012) de acuerdo con la clasificación de Muñoz-Iniestra et al., (2011). Salinidades altas inhiben la descomposición de los organismos, por lo que la cantidad de carbono orgánico disuelto en el agua tiende a disminuir, proceso que se observa en la presente investigación.

Otra característica determinante para las comunidades bénticas es el contenido de materia orgánica o porcentaje de carbono orgánico total (COT) en los sedimentos; Jiménez (2001) indica que el COT influye en la distribución de los grupos con hábitos detritívoros y ramoneadores; autores

como García-Navarro et al. (2016, 2017) mencionan que existe una relación directa en el tamaño del grano y el porcentaje de carbono orgánico. De hecho, en el presente estudio se observa que existe una correlación positiva entre las texturas arenosas-lodosas y el porcentaje de COT.

Eatherall et al. (1998), indican que la proporción de materia orgánica en el fondo de los sistemas estuarinos varía entre contenido vegetal autóctono y alóctono, como pastos sumergidos y manglares o bien de origen terrígeno. Algarsamy (1991) indica que en el fondo de una región estuarina no existe una variación definida en el contenido de materia orgánica y que ésta proviene básicamente de las descargas de aguas residuales domésticas o por descomposición de la vegetación sumergida.

En este sentido Calva (1998) registró en el SLM un promedio de 1.32% de COT y Botello et al. (2001) registraron un promedio de 1.36%. Es decir, existe un posible ciclo de 1.32% hasta un máximo de 1.36% bajando hasta 0.81% para volver a aumentar hasta un máximo de 1.86%. Estas fluctuaciones pueden deberse a que el SLM pertenece a la denominada zona conurbada de Veracruz y de hecho en la periferia de LM existen algunos establecimientos de gran importancia para las actividades turísticas que ahí se desarrollan y por ende la influencia del COT en el sistema, especialmente en toda su zona este (Capallera et al., 2012). Esto toma relevancia al considerar que las aguas residuales pueden influenciar de manera marcada el contenido de COT debido a que las comunidades que viven alrededor de la laguna vierten sus desechos directamente en la laguna.

Esto es importante ya que el contenido de materia orgánica podría influir directamente en las características tróficas de las comunidades que explotan dicho recurso, como lo menciona Algarsamy (1991), así como a los efectos del dragado y nortes que influyen en el SLM.

Es fundamental evaluar los efectos de la variación de los valores registrados para esta variable si se considera que esta refleja el funcionamiento del sistema en términos energéticos debido a la productividad primaria por la vía detrítica, donde un aumento en la productividad primaria neta representa un mayor potencial de los recursos mediante su uso complementario, hecho que se traduce en un aumento en la diversidad y riqueza de las comunidades.

EL SLM muestra una marcada zonación independientemente de las mareas: En la parte inferior o sur de la LM alejada de la boca de comunicación predomina la fracción gravosa, así como en la parte norte de la LL, en la denominada zona del Conchal. En la zona media del sistema, por el contrario, predominan los sedimentos lodosos o fangosos formados por procesos de floculación en la zona de mezcla entre el agua salada y el agua dulce y en todo el sistema que corresponden a EH, EM, LR y el norte de LM, pero homogéneamente representada, la fracción arenosa en cantidades de más del 60% es el componente sedimentario más característico del sistema.

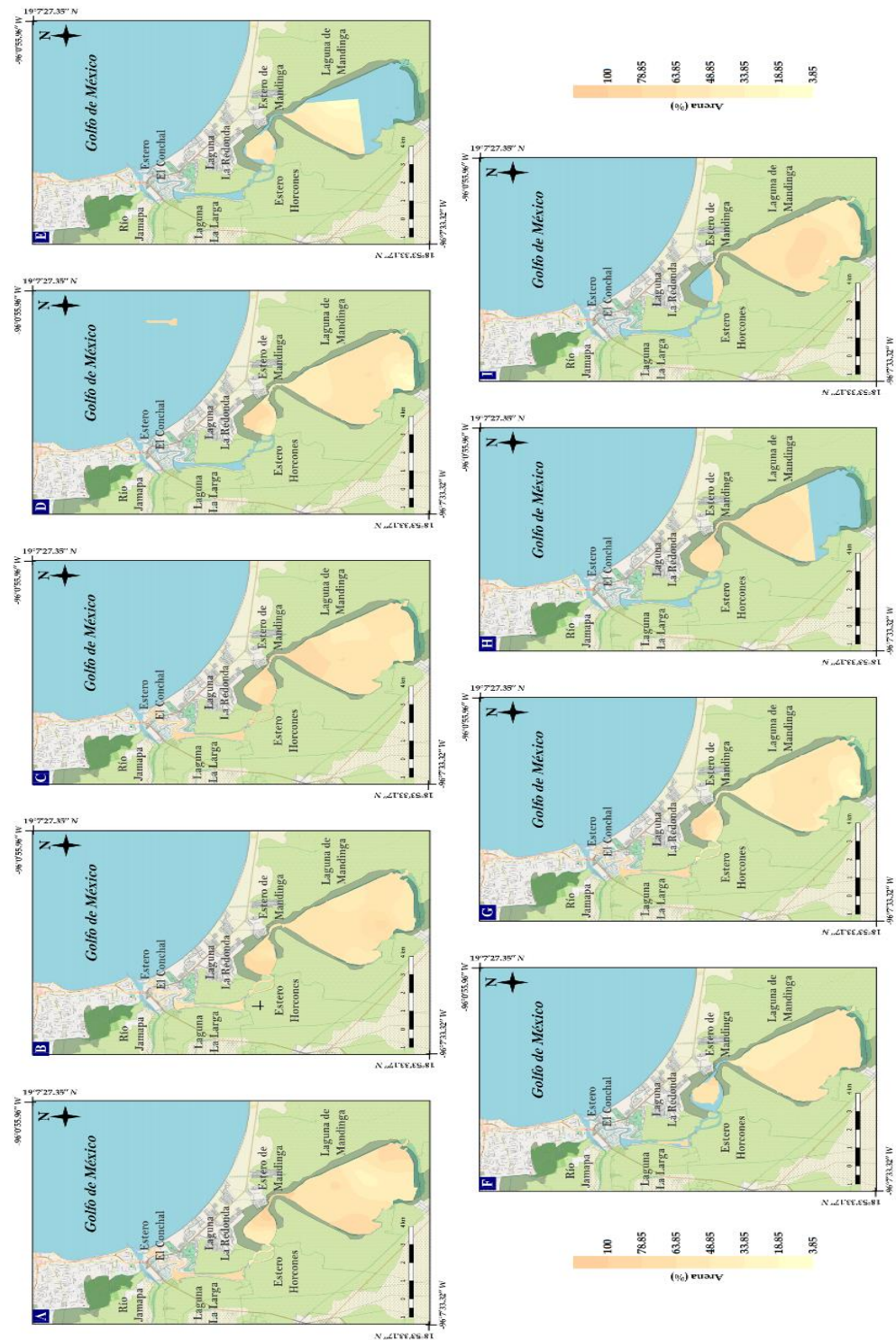


Fig. 3. Variación espacio-temporal de la fracción arenosa (%) en el SLM. A 2007, B 2008, C 2008 agosto, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015/**Fig. 3.** Spatio-temporal variation of the sand fraction (%) in the SLM. A 2007, B 2008, C 2008 August, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015.

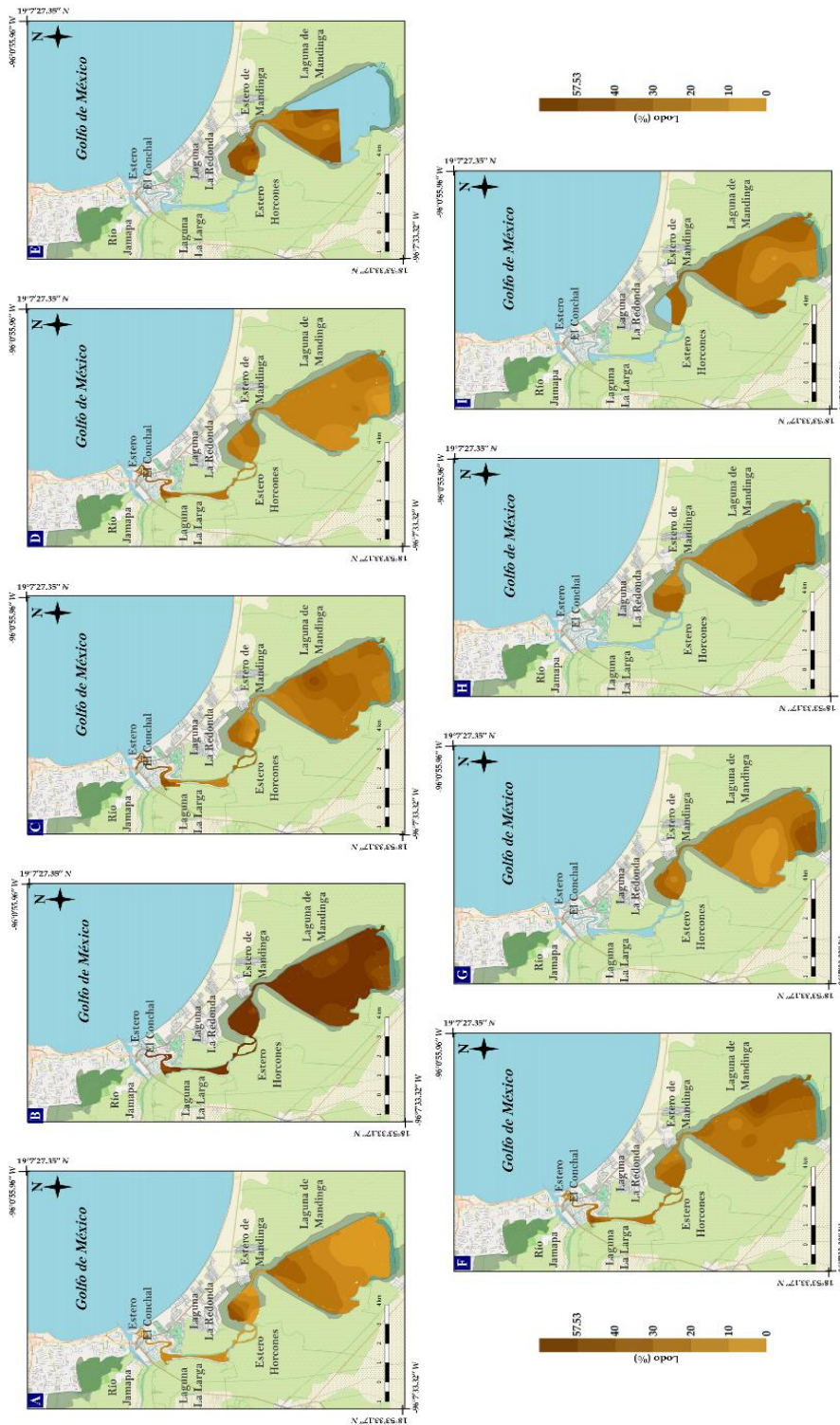


Fig. 5. Variación espacio-temporal de la fracción lodo (%) en el SLM durante el periodo de estudio. A 2007, B 2008, C 2008 agosto, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015 / Fig. 5. Spatio-temporal variation of the mud fraction (%) in the SLM during the study period. A 2007, B 2008, C 2008 August, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015.

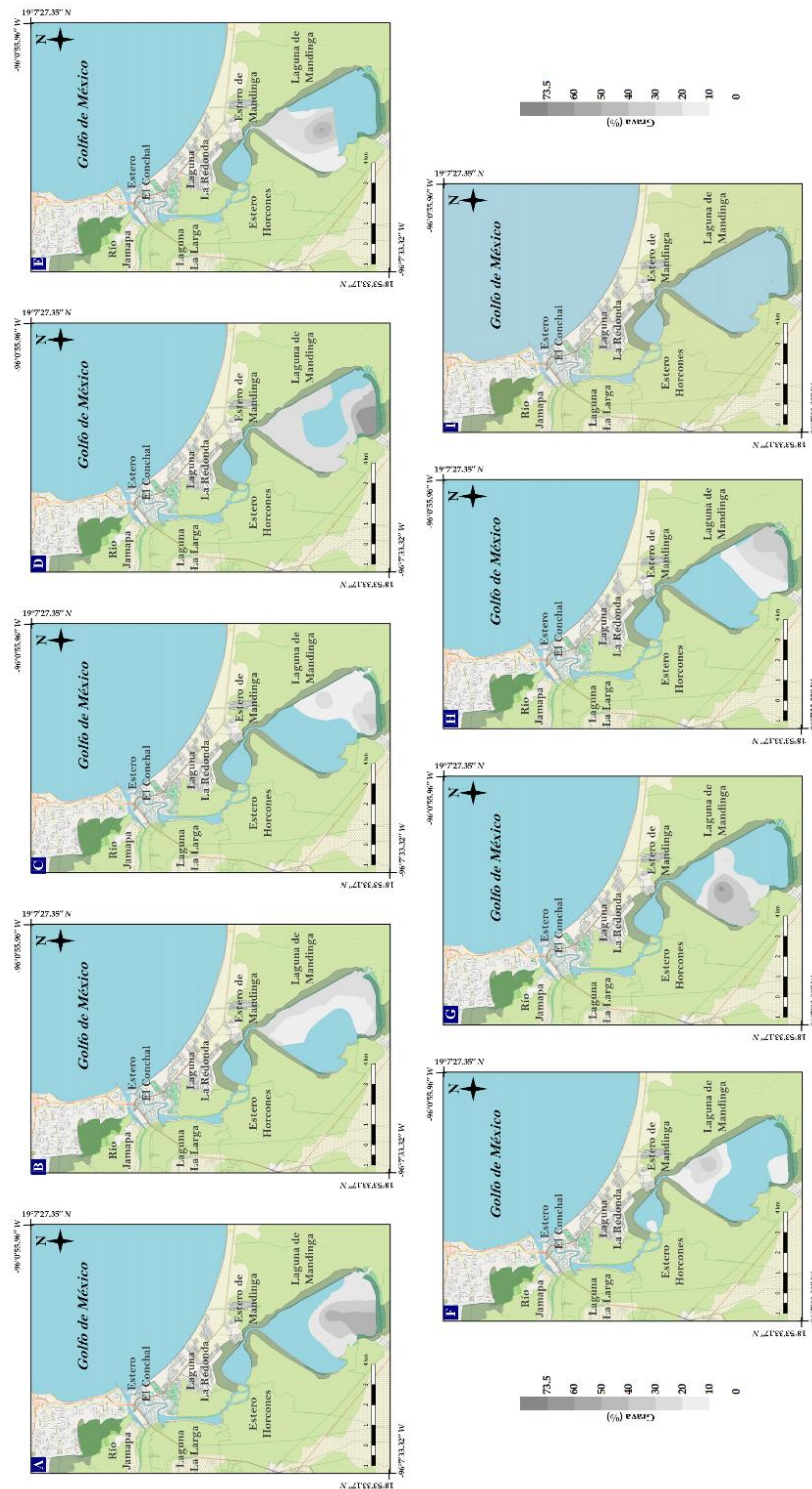


Fig. 7. Variación espacio-temporal de la fracción de grava (%) en el SLM. A 2007, B 2008, C 2008 agosto, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015 / Fig. 7. Spatio-temporal variation of the gravel fraction (%) in the SLM. A 2007, B 2008, C 2008 August, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015.

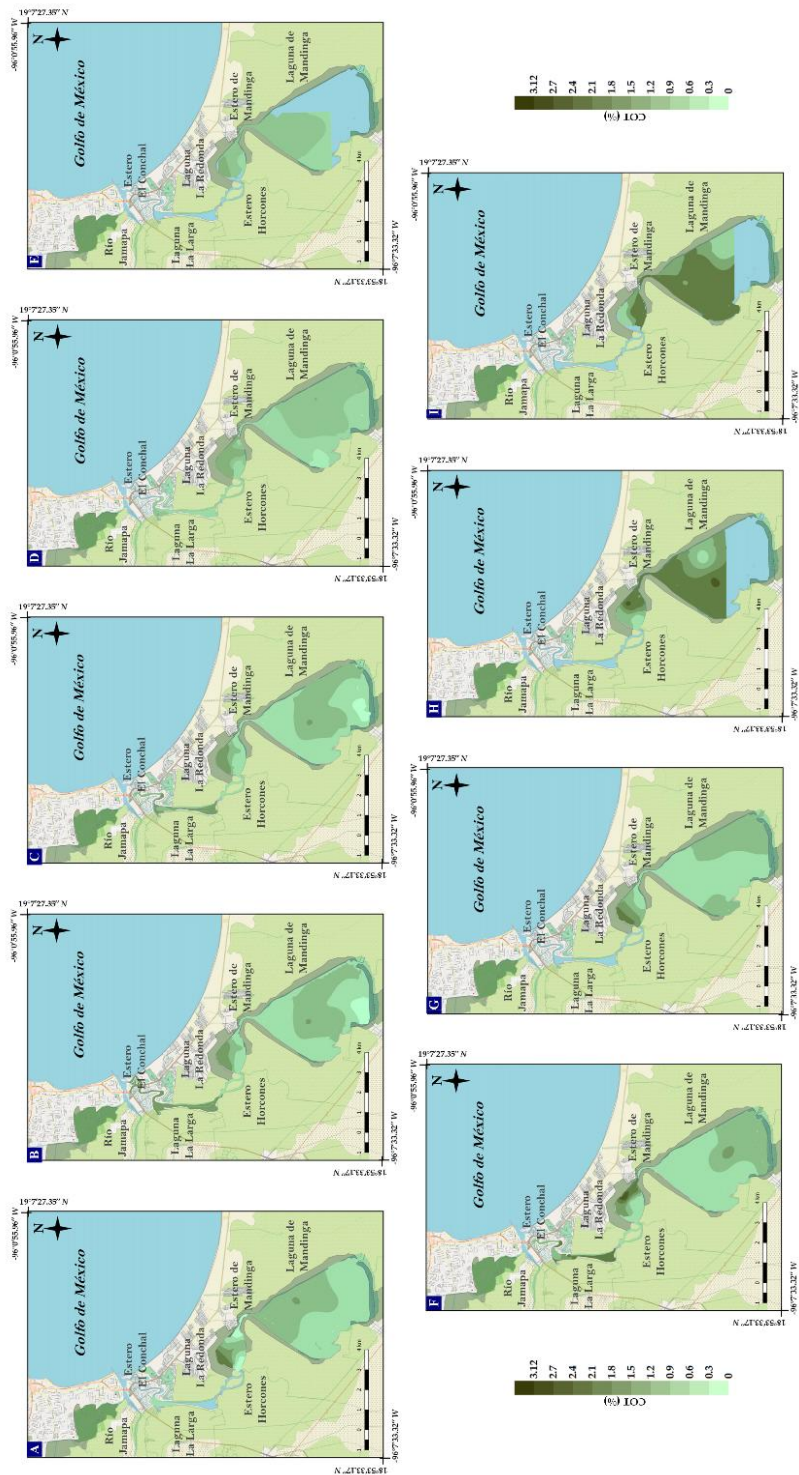


Fig. 9. Variación espacio-temporal de COT total (%) en el SLM. A 2007, B 2008, C 2008 agosto, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015/ Fig. 9. Spatio-temporal variation of TOC (%) in the SLM. A 2007, B 2008, C 2008 August, D 2009, E 2010, F 2011, G 2012, H 2013, I 2015.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la jefatura de la Carrera de Biología, FES Iztacala, UNAM, por el apoyo logístico para la realización de los muestreos. Al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) proyecto EN203804 y al Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para Promover Grupos de Investigación (PAPCA) de la UNAM, por otorgar recursos económicos para la compra de equipo y material usados en la presente investigación y a los revisores anónimos por sus acertadas observaciones.

REFERENCIAS

- Aldasoro-Said, G. A. (2015). *La microcuenca de Mandinga: Aportaciones a su historia ambiental*. Veracruz, México. [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41395>
- Algarsamy, R. (1991). Organic carbon in the sediments of Mandovi estuary, Goa. *Indian Journal of Marine Sciences*, 20, 221-222. <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/3240>
- Álvarez, F. y Rodríguez-Almaraz, G. (2008). *Crustáceos de México: estado actual de su conocimiento*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Arche, A. (Coord.). (1992). *Sedimentología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Arias, L. V. L. (1998). *Hidrología de la Laguna Camaronera, Veracruz, México*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/409816>
- Arreguín-Sánchez, F. (1982). Contribución al conocimiento de la hidrobiología de las lagunas de Mandinga, Veracruz, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 26(1-4), 111-134. <https://biblat.unam.mx/es/revista/anales-de-la-escuela-nacional-de-ciencias-biologicas/articulo/contribucion-al-conocimiento-de-la-hidrobiologia-de-las-lagunas-de-mandinga-veracruz-mexico>
- Bernal, G. y Betancur, J. (1996). Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 25(1), 49-76. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1996.25.0.370>
- Botello, V. A., Calva, L. G. y Ponce, G. V. (2001). Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from coastal lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(6), 889-897. <https://doi.org/10.1007/s001280205>
- Botello, A. V., Rendón von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (Eds.). (2005). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Brea, J. D. y Balocchi, F. (2011). *Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas*. (Vol. 2). Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). PHI-VII/Documento Técnico No. 28.

- Cabral, T. R. (2007). *Hidrología del sistema lagunar Sontecomapan, Veracruz, durante la temporada de secas y lluvias 2005 y secas 2006*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/456221>
- Calva, B. L. G. (1998). Determinación del porcentaje de carbono orgánico y análisis granulométrico de los sedimentos en las lagunas Alvarado y Mandinga, Veracruz. En F. Contreras (Comp.), *Estudio de la variación espacio temporal de la composición por tamaños de la comunidad planctónica en las lagunas Alvarado y Mandinga, Veracruz, México*. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.
- Calva, B. L. G. y Torres-Alvarado, M. R. (2000). Distribución de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánico en sedimentos de tres lagunas costeras del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 10(2), 101-114. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/909>
- Calva-Benítez, L. G. y Torres-Alvarado, M. R. (2011). Textura de sedimentos y carbono orgánico en el sistema costero lagunar Alvarado, Veracruz. *ContactoS*, 81, 11-16. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/81/pdfs/sedimentos.pdf>
- Capallera, C. J. F., Miranda, M. J. A. y Páez, A. I. M. (14-16 de noviembre de 2012). *Zonificación geotécnica de la zona conurbada de Veracruz (2012)* [Ponencia]. XXVI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, Can Cun, Quintana Roo.
- Chávez-López, S. y Álvarez-Arellano, A. D. (2006). Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas, Sonora, México. *Investigaciones Geográficas*, (60), 7-21. <http://dx.doi.org/10.14350/ig.30008>
- Clifton, H. E. (1982). Estuaries. En P. A. Scholle y D. Spearing (Eds.), *Sandstone depositional environments* (179-189). American Association of Petroleum Geologists Memoir 31.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011a). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Volumen I Contexto actual del estado y perspectivas de conservación de su biodiversidad*. Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C., México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011b). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Volumen II Diversidad de especies: Conocimiento actual*. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2013). *Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Veracruz. México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Contreras-Espinosa, F. (2006). Lagunas costeras de Veracruz. En P. Moreno-Casasola, E. R. Peresbarbosa y A. C. Travieso-Bello (Eds.), *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. Xalapa, Veracruz, México* (pp. 206-225). Instituto de Ecología A.C., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT).

- Cupul-Magaña, L. A., Mösso-Aranda, C., Sierra, J. P., Martí, E., Ferman-Almada, J. L., Rodilla, M., González del Río, J. y Sánchez-Arcilla, A. (2006). Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*, 32(4), 617-629. <https://www.redalyc.org/comocitar.ou?id=48032402>
- Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A. y Boyd, R. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), 1130-1146. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1992JSedR..62.1130D/doi:10.1306/D4267A69-2B26-11D7-8648000102C1865D
- Dyer, K. R. (1990). The rich diversity of estuaries. *Estuaries*, 13, 504-505.
- Dyer, K. R. (1995). Sediment transport processes in estuaries. En G. M. E. Perillo (Ed.), *Geomorphology and sedimentology of estuaries. Developments in sedimentology* (pp. 423-449). Elsevier.
- Eatherall, A., Naden, P. S. y Cooper, D. M. (1998). Simulating carbon flux to the estuary: The first step. *Science of the Total Environment*, 210(6), 519-533. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00035-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00035-7)
- Eisma, D. (Ed.). (1997). *Intertidal deposits: River mouths, tidal flats, and coastal lagoons*. CRC Press.
- Escalante, R. (2019). *Ingeniería del dragado* [Archivo PDF]. www.graduadosportuaria.com.ar/IngDragado/DRA_Tema%201_Generalidades.pdf
- Flemming, B. W. (2011). Geology, morphology, and sedimentology of estuaries and coasts. En E. Wolanski y D. S. McLusky (Eds.), *Treatise on estuarine and coastal science* (pp. 7-38). Academic Press.
- Galindo-Bect, M. S., Galindo-Bect, L. A., Hernández-Ayón, J. M., Ley-Lou, F. y Álvarez-Borrego S. (1999). Efecto de El Niño en los nutrientes y el carbón orgánico total de una laguna costera del Noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*, 25(2), 225-237. <https://doi.org/10.7773/cm.v25i2.664>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana)*. (5ª edición). Instituto de Geografía, UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- García-Navarro, J., Bautista-Vargas, M. E., Pérez-Bravo, S. G. y Carrillo-Loera, M. A. (2016). Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible. *Revista de Energía Química y Física*, 3(7), 15-26.
- García-Navarro, J., Bautista-Vargas, M. E., Hernández-Sánchez, A. y Ramírez-Velázquez, C. R. (2017). Generación de energía sustentable, por medio de una celda de combustible microbiana. Caso de estudio: Marismas de Altamira, Tamaulipas y Pueblo Viejo, Veracruz. *Revista de Energías Renovables*, 1(2), 1-11.
- Golden Software 2002. Surfer V.8. (2002). <https://www.goldensoftware.com/products/surfer>

- González-Fierro, A., Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S. y Ponce-Vélez, G. (1994). Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. *Hidrobiológica*, 4(1-2), 35-43. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/562>
- Gutiérrez-Estrada, M., Malpica-Cruz, V. M. y Martínez-Reyes, J. J. (1981). Geomorfología y sedimentos recientes del Sistema Lagunar Atasta-Pom, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 9(1), 89-99. <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1982-1/articulo130.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Carta topográfica 1: 20000. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Jiménez, C. B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa.
- Landaeta, C. J. (1998). Potenciales impactos ambientales generados por el dragado y la descarga del material dragado. *Revista Ingeniería UC*, 5(2). <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjazND3jeD4AhVWKEQIHTjGCmkQFnoECAGQAw&url=http%3A%2F%2Fservicio.bc.uc.edu.ve%2Fingenieria%2Frevista%2Fa5n2%2F5-2-3.pdf&usq=AOvVaw3PgnuyIJR7g494oCaHEoBh>
- Márquez, Z. A. G., Pérez-Rojas, A. y Díaz, V. (1996). Geología y sedimentación. En F. Contreras (Comp.), *Evaluación geoquímica ambiental, diagnosis de la zona costera de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco. Informe Final* (pp. 29-43). Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.
- Meyers, P. A. y Teranes, J. L. (2001). Sediment organic matter. En W. M. Last y J. P. Smol (Eds.), *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 2. Physical and geochemical methods* (pp. 239-270). Kluwer Academic Publishers.
- Morales, G. E. A., Carranza-Edwards, A. y Márquez-García, A. Z. (1988). Distribución y evolución de sedimentos superficiales del delta del Río Balsas, Michoacán, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 15(2), 95-103. <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1988-2/articulo307.html>
- Moreno-Casasola, P. (2006). *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. Xalapa, Veracruz, México. Instituto de Ecología, A.C.
- Moreno-Casasola, P. (Ed.). (2016). *Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz*. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC.
- Muñoz-Iniestra, D. J., Mendoza-Cantú, A., López-Galindo, F., Soler-Aburto, A. y Hernández-Moreno, M. M. (2011). *Edafología: manual de métodos de análisis de suelos*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala.
- Nichols, M. M. (1972). Sediments of the James River estuary. En B. W. Nelson (Ed.), *Environmental framework of coastal plain estuaries* (pp. 571-589). Geological Society of America Memoir 133.

- Nichols, M. M., Johnson, G. H. y Peebles, P. C., 1991. Modern sediments and facies model for a microtidal coastal plain estuary, the James estuary, Virginia. *Journal of Sedimentary Research*, 61(6), 883-899. <https://doi.org/10.1306/D42677F8-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Olivas, S. R., Villanueva, M. O. y Villalba, A. (1996). Estudio sedimentológico de la laguna costera El Soldado, Sonora, México. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 8(1), 95-108. <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/actas-oceanograficas/file/100-estudio-sedimentologico-de-la-laguna-costera-el-soldado-sonora-mexico>
- Peresbarbosa-Rojas, E. (2005). *Planeación para la conservación de la costa de Veracruz*. Pronatura Veracruz y The Nature Conservancy.
- Pérez, M., Martínez, G. y Fermín, I. (2006). Biodisponibilidad de metales traza en sedimentos superficiales del ecosistema lagunar costero Bocaripo-Chacopata (Península de Araya, Estado Sucre). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 45(2), 81-91.
- Poppe, L. J., Eliason, A. H., Fredericks, J. J., Rendigs, R. R., Blackwood, D. y Polloni, C. F. (2000). *Grain-size analysis of marine sediments: methodology and data processing*. U.S. Geological survey open-file report 00-358. <https://pubs.usgs.gov/of/2000/of00-358/text/chapter1.htm>
- Quiala, Y. A., Trujillo, H. B. y Morales, H. P. (2015). Evaluación de impacto ambiental al proyecto de dragado Marina Periquillo cayo Las Brujas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 17-30. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/287/247>
- Reed, A. J. y Wells, J. T. (2000). Sediment distribution patterns offshore of a renourished beach: Atlantic beach and fort Macon, North Carolina. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 88-98. <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/80778/77936>
- Reyes, A. O. U. (2011). *Hidrología del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, durante las temporadas climáticas de secas y lluvias 2008 y secas 2009* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/236326>
- Rodríguez-Varela, A. D. C., Barreto-Segura, O. A. y Vázquez-López, H. (2019). Diversidad de invertebrados bentónicos del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz, México. *Novitates Caribaea*, (14): 128-146. <https://doi.org/10.33800/nc.v0i14.205>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2006). *La gestión ambiental en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Syvitzki, J. P. M. (1991). The changing microfabric of suspended particulate matter-the fluvial to marine transition: flocculation, agglomeration, pelletization. En R. H. Bennett, W. R. Bryant y M. H. Hulbert (Eds.), *Microstructure of fine-grained sediments* (pp. 131-137). Springer.
- The Environment Management (TEM). (2016). *Equipos estandarizados para muestreos hidrobiológicos* [Archivo PDF]. <https://docplayer.es/76656120-Equipos-estandarizados-para-muestreos-hidrobiologicos.html>

- Vargas, M. R. (2002). *Evaluación de la toxicidad en sedimentos recientes de la laguna de Mandinga, Veracruz, México*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana]. <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=2572&docs=UAM2572.PDF>
- Walkley, A. y Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1934SoilS..37...29W/doi:10.1097/00010694-193401000-00003
- Wells, J. (1995). Tide-dominated estuaries and tidal rivers. En E. G. M. Perillo (Ed.), *Geomorphology and sedimentology of estuaries. Development in sedimentology* (pp. 179-205). Elsevier.
- Wentworth, C. (1936). Discussion: The method of moments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 6(3), 158-159. <https://doi.org/10.2110/jsr.6.158>
- Zaixso, H. E. (2002). *Manual de campo para el muestreo del bentos* [Archivo PDF]. <https://dokumen.tips/download/link/manual-de-campo-para-el-muestreo-de-bentos-universidad-nacional-de-la-patagonia>
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice Hall.

BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología, se encuentra actualmente indexada en





Alojada en los repositorios



En bases electrónicas de bibliotecas





WWU
MÜNSTER



CAROLINA
UNIVERSITY

George M. Manuel Library

Strengthening Research, Serving Our Community

Y en buscadores académicos



HARZING.COM

Bibliometric Analysis using
Publish or Perish: "Hands-On"