



Tres años de producción de hojarasca del manglar y su relación con las condiciones ambientales en la Laguna Mecoacán, Golfo de México

Jony R. Torres V.^{1,*} , Everardo Barba-Macías² , Alberto J. Sánchez³

(1) Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Academia de Biología (Laboratorio de Ecología de Zonas Costeras), Av. Tecnológico, Block 611, Bâcum, Sonora, México

(2) Manejo sustentable de cuencas y zonas costeras. El Colegio de la Frontera Sur. Carretera a Reforma, km 15.5 s/n Ra. Guineo 2da Sección. C.P. 86280 Villahermosa, Tabasco, México.

(3) Laboratorio Manejo de Humedales Tropicales. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

* Autor de correspondencia: Antonio J. Pérez-Luque [ajpelu@gmail.com]

> Recibido el 31 de marzo de 2022 - Aceptado el 07 de agosto de 2023

Como citar: Torres V., J.R., Barba-Macías, E., Sánchez, A.J. 2023. Tres años de producción de hojarasca del manglar y su relación con las condiciones ambientales en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Ecosistemas* 32(3): 2368. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2368>

Tres años de producción de hojarasca del manglar y su relación con las condiciones ambientales en la Laguna Mecoacán, Golfo de México

Resumen: El ecosistema de manglar es diverso y la composición de sus especies varía longitudinalmente en todo el mundo, por ello, la productividad primaria en base a la caída de hojarasca ha sido estudiada ampliamente. En el presente estudio se evaluó la producción de hojarasca durante tres años para identificar patrones en relación a físico químicos del agua y sedimento. La caída de hojarasca se midió por medio de trampas, además, se midieron los físicos químicos (salinidad, potencial redox, conductividad, temperatura y pH) de agua superficial, intersticial y subterránea, y de sedimentos del manglar (Textura, pH, materia orgánica, densidad aparente y contenido de humedad). Los principales resultados mostraron que la producción de hojarasca registró baja variación interanual, con 5.15 ton·ha⁻¹·año⁻¹ el primer año (2014-2015), el segundo año (2015-2016) fue de 5.1 ton·ha⁻¹·año⁻¹ y el tercer año (2016-2017) registró una producción menor con 4.93 ton·ha⁻¹·año⁻¹, con alta influencia de los niveles de salinidad, patrón de inundación y las precipitaciones, además el tipo de sustratos finos (arcillas) mantienen las condiciones de retención de humedad y materia orgánica, que permiten al manglar un mayor reciclamiento de nutrientes in situ que se refleja en mayor productividad primaria. Así mismo, la respuesta negativa en la producción de hojarasca del manglar al aumento de la salinidad, enfatiza la necesidad de documentar dichos procesos ante escenarios de cambio climático global.

Palabras clave: físico-químicos; laguna costera; patrón de inundación; productividad primaria

Three years of mangrove litter production and its relationship to environmental conditions in Laguna Mecoacán, Gulf of Mexico

Abstract: The mangrove ecosystem is diverse and its species composition varies longitudinally around the world, therefore, primary productivity based on litterfall has been extensively studied. In the present study, litter production was evaluated for three years to identify patterns in relation to physical chemicals of water and sediment. Litter fall was measured by means of traps, in addition, chemical physics (salinity, redox potential, conductivity, temperature and pH) of surface, interstitial and groundwater, and mangrove sediments (Texture, pH, organic matter, bulk density and moisture content) were measured. The main results showed that litter production registered low interannual variation, with 5.15 ton·ha⁻¹·year⁻¹ the first year (2014-2015), the second year (2015-2016) was 5.1 ton·ha⁻¹·year⁻¹ and the third year (2016-2017) registered a lower production with 4.93 ton·ha⁻¹·year⁻¹, with high influence of salinity levels, flood pattern and rainfall, in addition to the type of substrates fines (clays) maintain the conditions for retaining moisture and organic matter, which allow the mangrove a greater recycling of nutrients in situ, which is reflected in greater primary productivity. Likewise, the negative response in the production of mangrove litter to the increase in salinity emphasizes the need to document these processes in the face of global climate change scenarios.

Keywords: coastal lagoon; flood pattern; physical-chemical; primary productivity

Introducción

La zona costera y sus ecosistemas de humedales estuarinos presentan una alta complejidad hidrológica y paisajística (Contre-ras 1993), además de proveer de recursos naturales para la subsistencia y el bienestar de sus habitantes. Las comunidades de manglares son diversas y la composición de sus especies varía longitudinalmente en todo el mundo (Steinke y Charles 1984), por ello, la producción de hojarasca ha sido estudiada ampliamente.

La dinámica de la materia orgánica está estrechamente relacionada a los ciclos biogeoquímicos y los procesos de descomposición, mineralización y absorción de la vegetación (Chen y Twilley 1999), ya que estos elementos son requeridos por los organismos y actúan como nutrientes limitantes que pueden regular la productividad en los ecosistemas (Márquez et al. 2007). Varios estudios han demostrado que la comunidad de manglar es una fuente importante de nutrientes para las zonas adyacentes (Rivera-Monroy et al. 1995).

Este ecosistema funciona a partir de subsidios de materia (nutrientes, sedimentos, materia orgánica, agua dulce y salobre) y energía recibida (luz, temperatura, oleaje, mareas y huracanes), estos elementos permiten al aparato fotosintético producir biomasa que se expresa en términos de materia orgánica (productividad primaria) (Orihuela-Belmonte et al. 2004; Torres et al. 2017). Sin embargo, existe una variabilidad muy grande en los valores registrados para cada intervalo latitudinal (Bouillon et al. 2008), la cual ha sido atribuida a la diversidad de las características ambientales locales (Saenger y Snedaker 1993). Estas incluyen factores como la salinidad (Coronado-Molina et al. 2012), el contenido de nutrientes (Adame et al. 2012), las mareas (Lugo y Snedaker 1974), los niveles de inundación (Agraz-Hernández et al. 2011; Torres 2018b), características físico-químicas el suelo, eventos climáticos extremos (Adame et al. 2012; Torres 2018a), temperatura, evapotranspiración (Sánchez-Andrés et al. 2010), además, también influyen los suelos más finos (arcillas) con la capacidad de absorber y acumular materia orgánica, humedad y diferentes formas de nutrientes (Bailey 1968; Torres et al. 2017) e inciden en la dinámica del agua derivado de la porosidad y permeabilidad del suelo (Bjorn y McClaugherty 2008). Esta productividad primaria del manglar en la mayoría de los casos ha sido cuantificada en los manglares a través de la caída de hojarasca (Rico-Gray y Lot-Helgueras 1983; Steinke y Charles 1984), que puede ser expresada en la cantidad de hojarasca producida por unidad de área y tiempo (Kristensen et al. 2008).

El objetivo de la presente investigación fue estimar la producción de hojarasca del manglar durante tres años en la Laguna Mecoacán y determinar la relación con las variables físico-químicas del agua y sedimento; el presente estudio actualiza los datos presentados por Torres et al. (2017 y 2018a), derivado de esto se plantearon las siguientes hipótesis: (i) se espera que la producción de hojarasca tendrá una correlación positiva con el contenido de materia orgánica y el patrón de inundación, además, correlación negativa con los niveles de salinidad en agua intersticial, (ii) también se espera que el contenido de materia orgánica será mayor en sitios con alta producción de hojarasca y alto contenido de arcilla y baja densidad aparente del suelo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La Laguna Mecoacán se encuentra hacia el suroccidente del Golfo de México en el extremo oeste de la costa del estado de Tabasco, se localiza entre las coordenadas 18° 16' y 18° 20' de latitud norte y 93° 04' y 93° 14' latitud oeste (García-Cubas et al. 1990) y su comunicación con el mar es permanente por medio de una abertura de 400 m llamada Dos Bocas (Fig. 1). Recientemente la Laguna Mecoacán paso a forma parte del sistema de áreas naturales protegidas estatales (Estado de Tabasco 2019). En el margen este y sureste de la laguna desembocan los Ríos Escarbado y Cuxcuchapa (Gómez 1977). El régimen de lluvias es abundante en la época de verano y otoño, en ocasiones se prolongan hasta febrero de acuerdo a la época de "Nortes" y la época más seca inicia en febrero y se continúa hasta julio (West et al. 1976). La zona sur registra condiciones oligohalinas en los sitios que rodean el manglar y al interior del manglar la salinidad aumenta a condiciones de mesohalinidad, la zona oeste, que corresponde al límite con Paraíso, muestra las mayores salinidades que van de mesohalinas a polihalinas (Infante-Mata et al. 2014; Galaviz-Solís et al. 1987; Domínguez et al. 2003). Los aportes de materia orgánica provienen principalmente del manglar que rodea la laguna y del acarreo fluvial (Galaviz-Solís et al. 1987). La vegetación circundante dominante en la Laguna Mecoacán son las especies de Manglar *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (mangle blanco) y *Avicennia germinans* (L.) Stearn (mangle negro) (Pennington y Sarukhán 2005), mientras que la vegetación acuática sumergida reportada es *Halodule wrightii* (Aschers) Aschers (Domínguez et al. 2003), *Ruppia maritima* (L.) (Díaz 2015, comunicación personal) y las macroalgas de los géneros *Hypnea* y *Gracilaria* (Orozco-Vega y Dreckmann 1995). Los sitios de estudio en la laguna de Mecoacán se clasifican en dos tipos fisonómicos de manglares: borde (Boca, Aspoquero, Arrastradero and Pajalal) y cuenca (Cerros and Mojarrero) (Torres et al. 2017); *A. germinans* fue la especie más abundante con un máximo de árboles en Mojarrero con 3170±556 árboles·ha⁻¹, *L. racemosa* solo está presente en tres sitios (Boca, Cerros and Moja-



Figura 1. Sitio de estudio, Laguna Mecoacán, Golfo de México.

Figure 1. Study site, Laguna Mecoacán, Gulf of Mexico.

rrero) con densidad promedio baja (273 ± 118 árboles·ha⁻¹) y *R. mangle* está ausente en Mojarrero y con alta densidad en Pajal (1350±277 árboles·ha⁻¹) (Torres et al. 2017).

Seis sitios de estudio fueron seleccionados en zonas preservadas de manglar (Domínguez-Domínguez et al. 2011) (Boca, Cerros, Mojarrero, Aspoquero, Arrastradero y Pajal). En cada sitio se instalaron 3 unidades de muestreo (UM). El período de estudio fue de octubre del 2014 a septiembre 2017.

Físico-química del agua: Se instalaron dos piezómetros (en cada UM) de acuerdo al método propuesto por Moreno-Casasola y Warner (2009) para obtener una muestra de agua intersticial y subterránea mensualmente (0.50 y 1.5 m de profundidad respectivamente) (1249 muestras en total). La muestra de agua superficial se colectó directamente de la columna de agua sobre el suelo en inundación (361 muestras en total). En las muestras de agua se midieron la salinidad (UPS), potencial redox (mV), conductividad (mS/cm), temperatura (°C) y pH con un multiparámetro marca Hanna HI9828. Con ayuda del piezómetro de 1.5 m de profundidad se midió cada mes el patrón de inundación de acuerdo a lo propuesto por Peralta et al. (2009), donde valores negativos significan que el patrón de inundación está por debajo del nivel del suelo.

Físico-química del sedimento: Además, se colectó una muestra de sedimento (cada mes) en los primeros 20 cm en cada UM (648 muestras) mediante un nucleador (0.0033 m²) para realizar análisis de textura por método de Boyucos (Klute 1986), pH en relación 1:2 en agua por electrometría, contenido de materia orgánica (Walkley y Black 1934). También se colectaron muestras de sedimento con volumen conocido (648 muestras) para determinar densidad aparente y contenido de humedad del suelo de acuerdo a lo propuesto por Moreno-Casasola y Warner (2009), el contenido de humedad es el peso de agua que es capaz de almacenar un gramo de suelo, si el valor fuera 100 % significaría que 1 g de suelo almacena 1 g de agua (Infante-Mata 2011).

Variación temporal y espacial de la hojarasca: Se colectaron mensualmente las muestras de hojarasca mediante tres trampas circulares (52 cm de diámetro) en cada UM instaladas debajo del dosel (Moreno-Casasola y Warner 2009), con un total de 54 trampas (1944 muestras). Las hojas, flores, frutos, estípulas y pedazos de ramas/madera fueron separados por especie y pesados en balanza analítica (0.001 g de precisión). La producción se presenta en valores anuales (ton·ha⁻¹·año⁻¹) y mensuales (g·m⁻²·mes⁻¹).

Análisis estadísticos: Los datos fueron analizados mediante el test de normalidad Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene. Para determinar las diferencias significativas entre los grupos de datos ($p < 0.05$), se aplicó un ANDEVA de una vía de Tukey (Steel y Torrie 1996). Se utilizó la correlación de Pearson (r) para determinar las relaciones entre la productividad primaria (hojarasca) y la físico-química del agua y sedimento en los tres años. Todos los análisis se realizaron con software IBM SPSS Statistics 20.

Resultados

Físico químicos en agua y sedimento

La conductividad promedio del agua en sitios presentó diferencias significativas entre los tres niveles de profundidad (superficial, intersticial y subterránea) con altos valores en Boca (superficial, 39.4 ± 1.8 mS/cm) y Mojarrero (intersticial, 87.7 ± 3 y subterránea, 91.7 ± 2.2 mS/cm). En relación a la temperatura, solo en superficial e intersticial presentaron diferencias significativas con valores en un rango de 25.8 a 27.4 °C (Tabla 1). La variación del pH en agua registró diferencias significativas a nivel intersticial y subterráneo en un rango de 6.74 a 7.55 en promedio. Los valores de potencial óxido reducción (ORP) registraron máximos en la Boca (superficial, -93.3 ± 23.5 mV) y Mojarrero (intersticial, -36.6 ± 16.5 y subterránea, -98.2 ± 5 mV), los mínimos se presentaron en agua subterránea (Arrastradero, -280.7 ± 14 y Boca, -267.2 ± 12.5 mV), (Tabla 1).

La salinidad presentó diferencias significativas en agua superficial ($F=4.9$ $p < 0.05$ $N=134$, $L=0.09$) con mayor valor promedio en Boca (25.1 UPS) y menor en Arrastradero (12.2 UPS), en relación

a la salinidad intersticial y subterránea promedios se presentaron con diferencias significativas ($F=55$ $p < 0.05$ $N=206$ $L=0.08$ y $F=72$ $p < 0.05$ $N=216$ $L=0.7$ respectivamente) debido a los altos niveles de salinidad en Mojarrero (intersticial 60 y subterránea 64.6 UPS). Respecto a la salinidad durante los meses de monitoreo, el agua superficial mostró diferencias significativas ($F=3.5$ $p < 0.05$ $N=134$ $L=0.3$) con alto valor promedio en marzo (29 UPS), en junio para agua intersticial (44 UPS) y en agosto para agua subterránea (46.4 UPS). Durante los 36 meses de monitoreo se identificó una tendencia de aumento en la salinidad intersticial y subterránea ($y=0.5651x+27.45$; $y=0.2187x+39.061$ respectivamente), (Fig. 2). Durante los meses de monitoreo se registró correlación negativa de la salinidad superficial e intersticial con la densidad aparente del suelo ($r=-0.72$ y -0.52 respectivamente con $p=0.001$ y $N=36$), y con el contenido de arcilla ($r=-0.4$ y -0.56 respectivamente con $p=0.001$ y $N=36$).

La densidad aparente en sitios presentó alto valor promedio en Boca (1.3 ± 0.04 gr/cm³) y bajos en Cerros (0.6 ± 0.03 gr/cm³). El pH promedio en sitios registró valores en un rango de 4.5 en Boca hasta 5.8 en Mojarrero (Tabla 2). Los sitios con mayor contenido de materia orgánica en promedio fueron Pajal (14.6%) y Cerros (11.6%), en los meses de monitoreo los altos valores se registraron en octubre 2014 (18.4%), julio 2015 (14%) y octubre 2016 (18.4%) (Fig. 3A). En relación a los tipos de textura en los sitios, el mayor contenido de arena ($F=43$ $p < 0.05$ $N=216$ $L=0.07$) se presentó en Boca (45.6%) y el menor en Pajal (20.8%), el contenido de limo ($F=18$ $p < 0.05$ $N=216$ $L=0.05$) presentó alto valor en Mojarrero (46.6%) y bajo contenido en Cerros (28.9%), el sitio con mayor contenido de arcilla ($F=73$ $p < 0.05$ $N=216$ $L=0.15$) fue Pajal (40%), la textura del sedimento durante el ciclo de monitoreo solo registró diferencias significativas en los contenidos de limo ($F=2.9$ $p=0.001$ $N=216$ $L=0.09$) en un rango de 30 a 53%, el contenido de arena mostro variación de 23 a 48% y arcilla de 22 a 30% (Fig. 3B). En los sitios se presentaron alta correlación positiva del contenido de materia orgánica con arcilla ($r=0.94$ $p < 0.001$ $N=18$) y negativa con arena ($r=-0.75$ $p < 0.05$ $N=18$).

El contenido de agua en suelo de los sitios registró amplia variación con diferencias significativas ($F=76$ $p < 0.05$ $N=216$ $L=0.06$) derivado de bajo valor promedio en Boca (50%) en relación a Cerros (180%), los meses de monitoreo no registraron diferencias significativas ($F=1.1$ $p=0.4$ $N=216$ $L=0.6$) en un rango promedio de 94% en mayo a 126% en diciembre (Fig. 4). El patrón de inundación registró diferencias tanto espaciales como temporales ($F=9.8$ y 7.7 respectivamente con $p < 0.05$ y $N=216$) con el menor nivel promedio en Aspoquero durante el mes de mayo del 2015 (-121.6 cm) y el mayor en Cerros durante diciembre del 2015 (36.3 cm) (Figs 4 y 5). En sitios de monitoreo, el contenido de humedad se correlacionó de forma positiva con los contenidos de arcilla y materia orgánica en suelo ($r=0.83$ y 0.87 respectivamente con $p < 0.05$ y $N=18$).

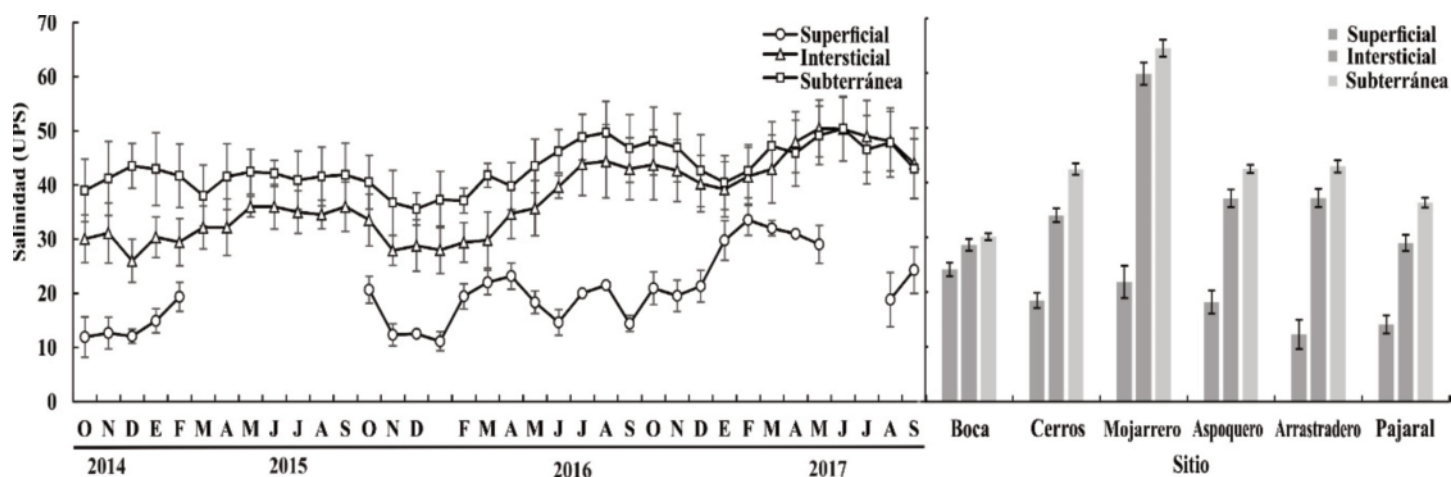
Variación temporal y espacial de la hojarasca

La producción de hojarasca durante el primer año (2014- 2015) fue de 5.15 ton·ha⁻¹·año⁻¹, el segundo año (2015- 2016) fue de 5.1 ton·ha⁻¹·año⁻¹ y el tercer año (2016-2017) registró una producción menor con 4.93 ton·ha⁻¹·año⁻¹. El más alto aporte de hojarasca promedio se registró en Boca (49 g·m⁻²·mes⁻¹) y durante los meses del ciclo de estudio se registró en los meses de noviembre del 2014 (73.3 g·m⁻²·mes⁻¹) y octubre del 2015 (86.2 g·m⁻²·mes⁻¹), los menores aportes fueron en el mes de febrero de los 3 ciclos anuales de estudio (14.8, 16 y 20.1 g·m⁻²·mes⁻¹) (Fig. 6). En relación a cada uno de los componentes se identificó que la hoja corresponde a un 65% de la hojarasca total, seguido por madera/ramas con 14.5%, fruto (11.3%), flor (5.8%) y estípulas (3.1%) (Fig. 6). En los meses de monitoreo (36 meses) la hojarasca presentó correlación positiva con el contenido de materia orgánica en suelo ($r=0.52$ $p < 0.05$ $N=36$), además, se registró correlación espacial (entre sitios) negativa de la salinidad intersticial ($r=-0.57$ $p < 0.05$ $N=36$) y positiva con los valores del patrón de inundación ($r=0.53$ $p < 0.05$ $N=36$). En relación a los valores promedios de hojarasca anual se correlacionaron de forma negativa con la salinidad intersticial y subterránea ($r=-0.99$ y -0.98 respectivamente, con valores de $p < 0.05$).

Tabla 1. Parámetros físico-químicos del agua en los sitios de muestreo en la Laguna Mecoacán, Tabasco.**Table 1.** Physical-chemical parameters of water at sampling sites in Laguna Mecoacán, Tabasco.

		Boca	Cerros	Mojarrero	Aspoquero	Arrastradero	Pajalal	F	p
Superficial	Cond (mS/cm)	39.4±1.8 a	33.3±3.5 ab	34.6±5.7 ab	29.8±3.4 ab	20.4±7 b	23.9±2.6 b	3.8	0.18
	Temp °C	26.5±0.4 ab	28.3±0.5 b	25.8±0.7 ab	26.4±0.6 ab	25.9±0.6 ab	26±0.5 b	4.3	0.67
	pH	7.4±0.07	7.55±0.09	7.13±0.1	7.45±0.08	7.12±0.14	7.37±0.12	2.2 ns	0.6
	ORP (mV)	-110.1±16.5	-130.7±17.2	-109.5±15.4	-93.3±23.5	-112.±17	-112.3±25.6	0.5 ns	0.58
Intersticial	Cond (mS/cm)	44.8±1.5 ac	53.9±2 ac	87.7±3 b	58.3±2.4 a	56.6±2.3 a	45.3±1.9 c	50	0.11
	Temp °C	26.9±0.3 ab	28.1±0.4 a	27.2±0.4 ab	27.4±0.4 ab	26.9±0.3 ab	26.5±0.3 b	2.3	0.41
	pH	7.34±0.05 a	7.07±0.06 b	6.84±0.05 bc	6.98±0.07 bc	6.85±0.07 bc	6.74±0.07 c	12	0.42
	ORP (mV)	-264.9±13.4 a	-163.6±12.7 b	-36.6±16.5 c	-136.3±16.2 b	-134.3±16.1 b	-178.6±13.4 b	25	0.15
Subterránea	Cond (mS/cm)	47.1±1.2 a	64.3±1.9 b	91.7±2.2 c	63.7±1.5 b	64±2.3 b	55.8±1.4 b	69	0.07
	Temp °C	26.8±0.4	27.6±0.4	27.3±0.3	27.3±0.3	26.6±0.3	26.8±0.3	1.4 ns	0.1
	pH	7.45±0.06 a	7.18±0.05 b	6.93±0.05 c	7.18±0.05 b	6.99±0.07 bc	7.18±0.05 bc	10	0.92
	ORP (mV)	-267.2±12.5 a	-199.6±15 b	-98.2±5 c	-155.5±12 b	-280.7±14 a	-251.9±13.8 a	33	0.08

Cond: conductividad, Temp: temperatura, ORP: potencial de óxido reducción. ($p < 0.05$) ($\pm EE$ = Error estándar). Las letras indican diferencias significativas entre los sitios. p = Prueba de Levene.

**Figura 2.** Salinidad en agua (superficial, intersticial y subterránea) durante el ciclo y sitios de monitoreo en Laguna Mecoacán, Golfo de México. (Test Tukey, $p < 0.05$), ($\pm EE$).**Figure 2.** Salinity in water (surface, interstitial and groundwater) during the cycle and monitoring sites in Laguna Mecoacán, Gulf of Mexico. (Tukey test, $p < 0.05$), ($\pm SE$).**Tabla 2.** Densidad aparente y pH en sedimento del manglar.**Table 2.** Bulk density and pH in mangrove sediment.

	Boca	Cerros	Mojarrero	Aspoquero	Arrastradero	Pajalal	F	p
DA	1.3±0.04 a	0.6±0.03 b	1.1±0.04 c	1±0.04 d	0.8±0.03 e	0.7±0.02 b	66	0.08
pH	4.5±0.12 a	5.6±0.11 b	5.8±0.08 b	5.6±0.12 b	5.7±0.08 b	5.4±0.13 b	20	0.11

DA= Densidad aparente, Prueba de Tukey $p < 0.05$, ($\pm EE$ = Error estándar). Letras indican diferencias significativas entre sitios. p = Prueba de Levene

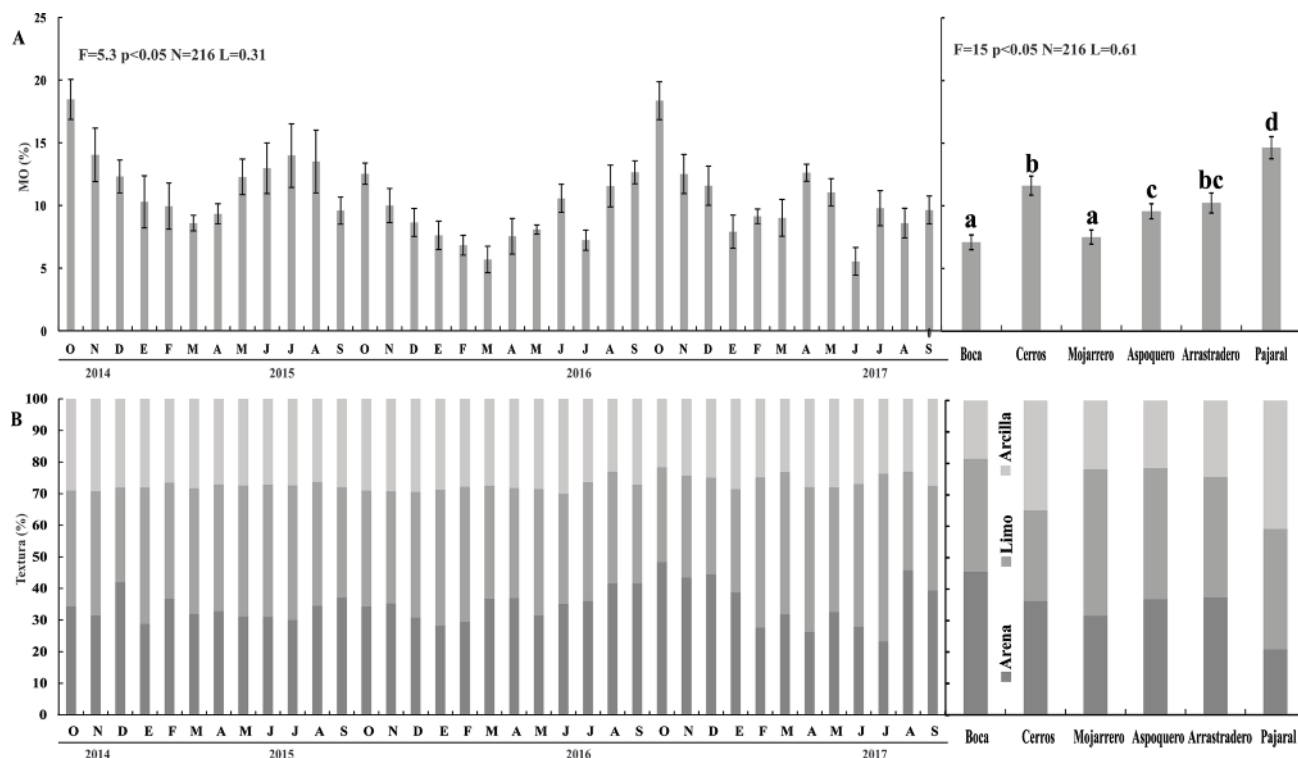


Figura 3. A) MO: Materia orgánica y **B)** textura del sedimento en meses y sitios de monitoreo. ($\pm EE$), las letras muestran diferencias significativas entre sitios (Tukey $p<0.05$), L =Prueba de Levene.

Figure 3. A) MO: organic matter and **B)** sediment texture in months and monitoring sites. ($\pm SE$), the letters show significant differences between sites (Tukey $p<0.05$), L = Prueba de Levene.

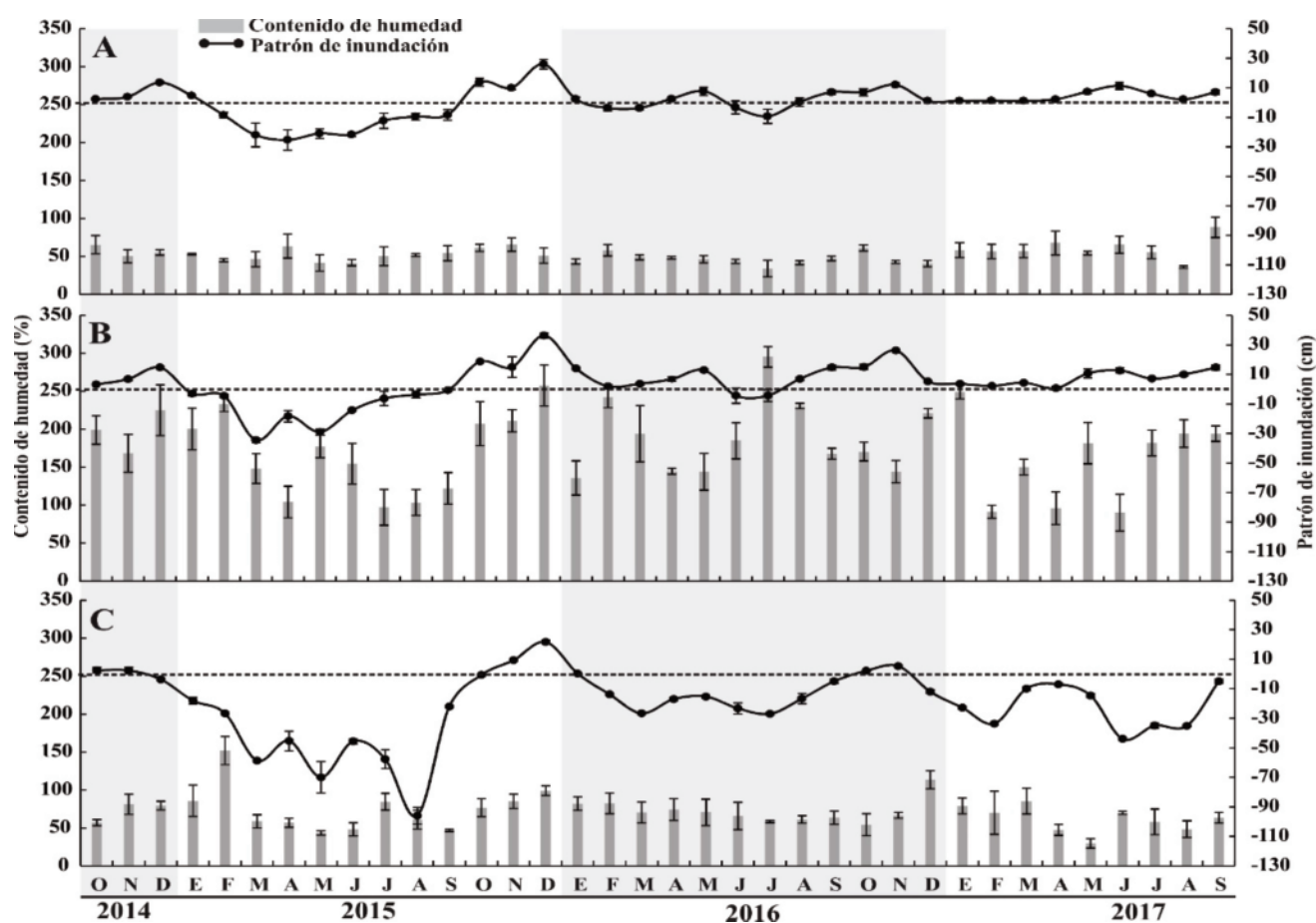


Figura 4. Hidroperíodo y contenido de humedad en los sitios durante el ciclo de monitoreo. A) Boca, **B)** Cerros, **C)** Mojarrero. ($\pm EE$), (Prueba de Tukey $p<0.05$).

Figure 4. Hydroperiod and moisture content at the sites during the monitoring cycle. A) Boca, **B)** Cerros, **C)** Mojarrero. ($\pm EE$), (Tukey test $p<0.05$).

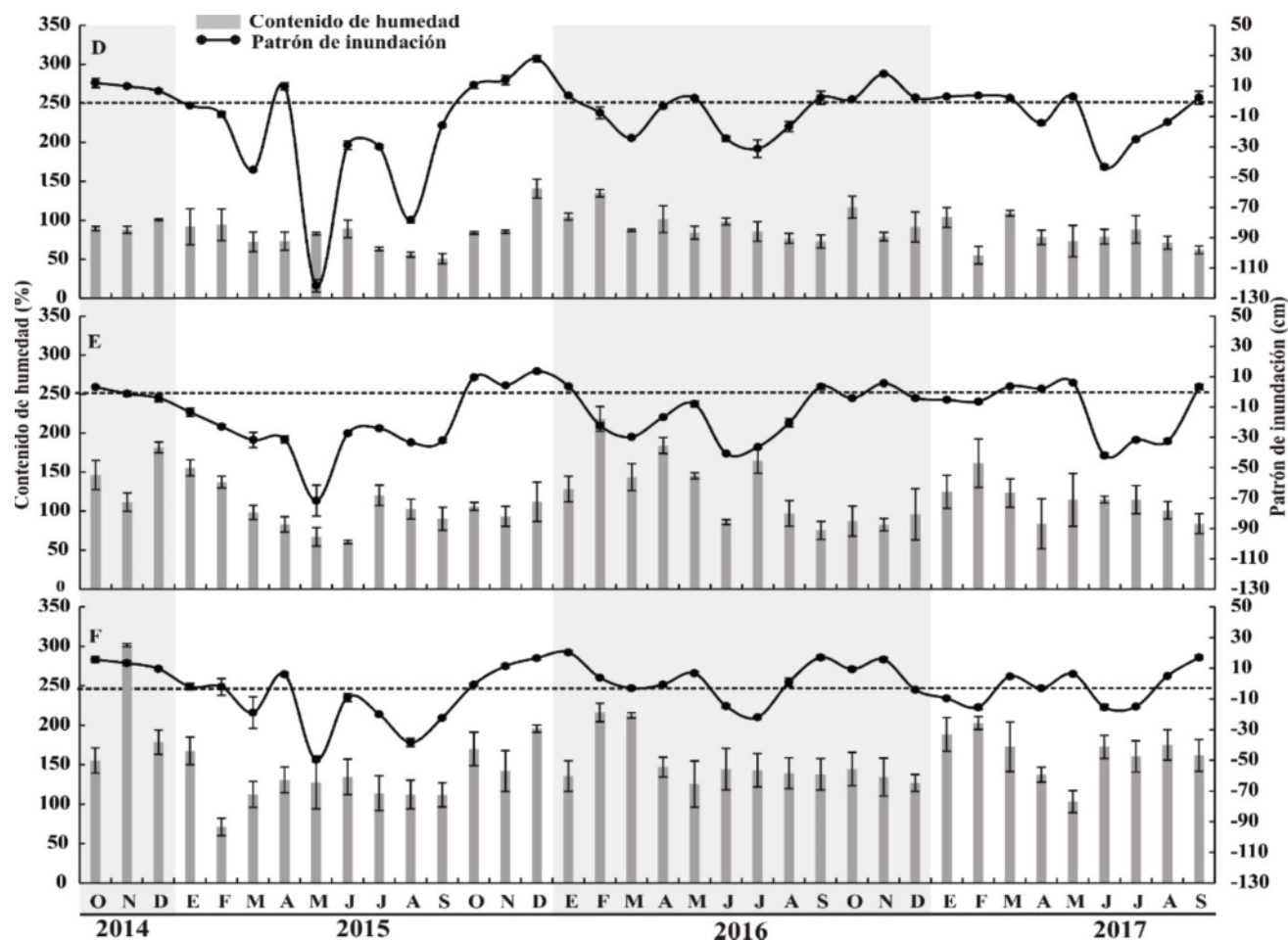


Figura 5. Patrón de inundación y contenido de humedad en sitios de monitoreo. **D)** Aspoquero, **E)** Arrastradero, **F)** Pajal. ($\pm EE$), (Tukey $p < 0.05$).

Figure 5. Flood pattern and moisture content at monitoring sites. **D)** Aspoquero, **E)** Arrastradero, **F)** Pajal. ($\pm SE$), (Tukey $p < 0.05$).

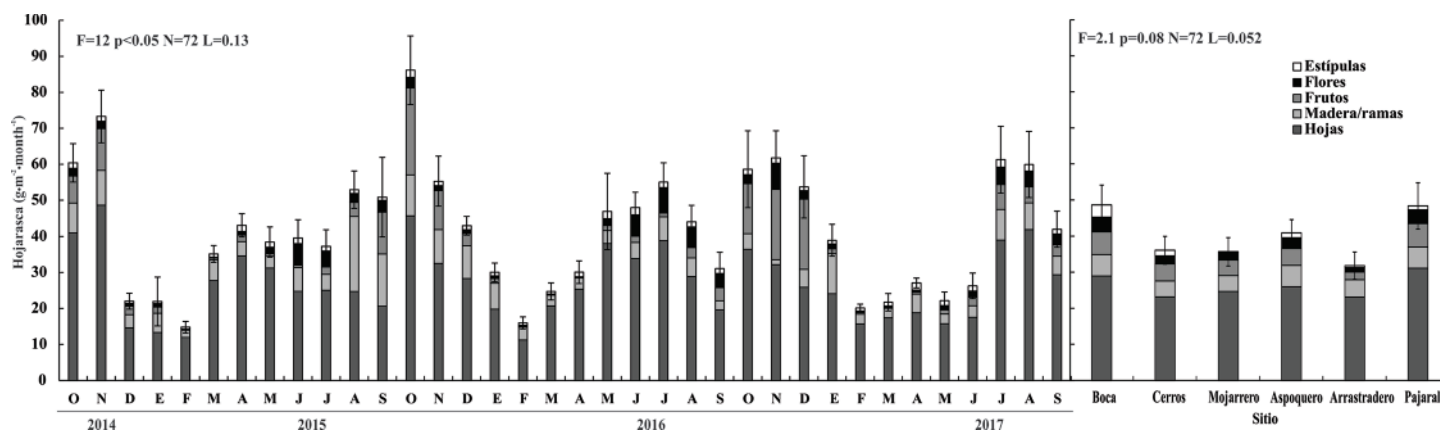


Figura 6. Producción de hojarasca por componentes durante el ciclo y sitios de estudio, en Laguna Mecoacán, Tabasco. (Tukey $p < 0.05$), ($\pm EE$ =Error estándar), L = Prueba de Levene.

Figure 6. Litter production by components during the cycle and study sites, in Laguna Mecoacán, Tabasco. (Tukey $p < 0.05$), ($\pm SE$ =Standard Error), L = Prueba de Levene.

Discusión

La hipótesis (i) que menciona una correlación positiva de la producción de hojarasca con el contenido de materia orgánica y el patrón de inundación, además, correlación negativa con los niveles de salinidad en agua intersticial, se aprueba, ya que se registró un aumento en la producción de hojarasca relacionado con los altos niveles de inundación que influye en la disminución de la salinidad del agua intersticial, por otro lado, los contenidos de materia orgánica aumentaron correlacionados con la producción de hojarasca. Diversos estudios han observado una correlación inversa entre la concentración de la salinidad y la producción de hojarasca (Espinoza-Garduño 2012; Conde 2014; Torres et al. 2017; Torres et al. 2018b). Por lo tanto, se ha demostrado que la alta salinidad del suelo influye en los manglares y causa una disminución de la caída de hojarasca (Lugo y Brinson 1988). Al respecto, Mitsch y Gosselink (2000) mencionan que un cambio mínimo en el patrón hidrológico puede generar cambios en la producción de la hojarasca. La estructura del bosque puede influir en la producción de hojarasca, sin embargo, intervienen otros factores como la precipitación, el patrón de inundación, el alto recambio de agua dulce, la carga de nutrientes, etc. (Estrada-Durán et al. 2001).

Pocos estudios miden la producción de hojarasca por amplios períodos de tiempo, entre ellos podemos citar a Day-Jr et al. (1996) que estimó por un record de 7 años la producción de hojarasca en Laguna de Términos, Campeche donde reporta una caída de hojarasca promedio de $793 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$. La producción de hojarasca en la Laguna Mecoacán ($5.03 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en los tres años) es similar a lo reportado por López-Portillo y Ezcurra (1985) de $6.14 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para la misma laguna, así mismo, en Mecoacán se presentó una ligera disminución intra anual (2.4% en promedio) que se puede atribuir al ligero aumento de la salinidad intersticial (alta correlación negativa) durante los 3 años.

En todos los manglares del mundo, parece haber una tendencia general a que ocurra un pico de hojarasca durante la estación lluviosa (Pool et al. 1975; Williams et al. 1981; Bunt 1982). Esta caída máxima de hojarasca, en un momento en que abunda el agua dulce y fluye a través del área, puede ayudar a explicar la alta producción de material fotosintético (Day et al. 1987); pues esta hidrodinámica reduce la salinidad del suelo, lava el exceso de sales en las hojas y disminuye la temperatura del aire (Orihuela-Belmonte et al. 2004; Félix-Pico 2006). En la Laguna Mecoacán, Torres et al. (2017) identificó para el período Nov 2014-Oct 2015 una alta correlación positiva con las precipitaciones, sin embargo, no fue posible identificar la correlación para los tres años, debido a la ausencia de datos de la torre meteorológica de CONAGUA-SMN-EMAS (2017) que sufrió daños.

La hipótesis (ii) que menciona un alto contenido de materia orgánica en sedimentos (sitios) con alto contenido de arcilla y menor densidad aparente del suelo se aprueba, ya que la alta densidad aparente mostró altos contenidos de arena en suelo, que limita la retención de humedad (agua) y materia orgánica. Pajal y Cerros se identificaron altos contenidos de arcilla, materia orgánica y humedad, con los más bajos niveles de densidad aparente, lo que concuerda con Bjorn y McClaugherty (2008), quienes mencionaron que los suelos con mayor contenido de arcilla son capaces de almacenar más materia orgánica que los suelos arenosos, así mismo mencionan que la textura es la propiedad física más importante del suelo e influye directamente en la dinámica del agua y nutrientes derivado de la porosidad y permeabilidad que presente el suelo. Por lo tanto, los suelos mejor drenados, la menor salinidad y el aporte de nutrientes (materia orgánica) tanto por insumos autóctonos como alóctonos, por fuentes naturales y antropogénicas son factores asociados con mayor productividad (Day et al. 1987; Bouillon et al. 2002). Adicionalmente, se ha observado que la disponibilidad de nutrientes es un factor importante que limita la productividad en los manglares (Onuf et al. 1977; Boto y Wellington 1984; Feller et al. 2003). La alta plasticidad de los manglares les confiere la capacidad de resistir condiciones de bajos nutrientes, al mismo tiempo permite la capacidad de explotar altos niveles de nutrientes cuando están disponibles (Fromard et al. 2004).

Conclusiones

La información generada en esta publicación proporcionará datos referentes y de línea base del ecosistema de manglar en la Laguna Mecoacán, la producción de hojarasca registró baja variación interanual, con $5.15 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ el primer año (2014-2015), el segundo año (2015-2016) fue de $5.1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y el tercer año (2016-2017) registró una producción menor con $4.93 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Los resultados del presente estudio indican que la producción de hojarasca está determinada por las condiciones ambientales de forma local, por ejemplo, los niveles de salinidad, patrón de inundación y las precipitaciones, además el tipo de sustratos finos (arcillas) mantienen las condiciones de retención de humedad y materia orgánica, que permiten al manglar un mayor reciclamiento de nutrientes en sitio que se refleja en mayor productividad primaria. La temporada de lluvias genera aumento del patrón de inundación con un resultado en disminución de la salinidad y aumento de la producción de hojarasca en escala espacial y tiempo. Así mismo, la respuesta negativa en la producción de hojarasca del manglar al aumento de la salinidad, enfatiza la necesidad de documentar dichos procesos ante escenarios de cambio climático global.

Además de la productividad en base a hojarasca, es importante estimar la biomasa debajo del suelo (raíces) que estos ecosistemas son capaces de producir, como una medida de carbono almacenado por estos ecosistemas, que además sirven de soporte para la producción secundaria de los sistemas lagunares estuarinos. También, es de alta importancia desarrollar el monitoreo continuo ante el desarrollo de la zona costera de Tabasco con la construcción de la refinería de Dos Bocas, y con los efectos y amenazas derivados del cambio global en la costa, donde las obras de infraestructura portuaria han afectado el comportamiento de la corriente costera, provocando el proceso de azolve de la barra de Dos Bocas, lo que ha impedido el ingreso del agua de mar, y se ha visto la disminución del cultivo del ostión, así como varios eventos de derrames de petróleo (Bello et al. 2017).

Contribución de los autores

Jony R. Torres: diseño, conceptualización, redacción borrador inicial, edición, análisis de datos; Everardo Barba-Macías: Adquisición de fondos, conceptualización, revisión y edición; Alberto J. Sánchez: conceptualización, revisión.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado como parte de las actividades y con el apoyo de la Red Temática Áreas Naturales Protegidas CONACyT Proyecto 269540 y con el apoyo de la Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste de México.

Referencias

- Adame, M.F., Zaldívar-Jiménez, A., Teutli, C., Caamal, J., Andueza, M.T., López-Adame, H., Herrera-Silveira, J.A. 2012. Drivers of mangrove litterfall within a karstic region affected by frequent hurricanes. *Biotropica* 45(2): 147-154.
- Agraz-Hernández, C.M., García-Zaragoza, C., Iriarte-Vivar, S., Flores-Verdugo, F.J., Moreno-Casasola, P. 2011. Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of Mexico. *Wetlands* 19(3) 273-293.
- Bailey, G.W. 1968. Role of soils and sediment in water pollution control - Part 1: Reactions of Nitrogen and phosphorus compounds with soils and geological strata. Cornell University. Department of the interior, Federal Water Pollution Control Administration, South East Water Laboratory. Nueva York, Estados Unidos.
- Bello, J., Cervantes-Ábrego, M., Gómez L., Magaña V., Graizbord B., Rodríguez, P.H. 2017. Sitio piloto Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona. En: Buenfil-Friedman J., (Eds.), *Adaptaciones de los humedales costeros al cambio climático*. Pp. 480-502. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ciudad de México, México.

- Bjorn, B., McClaugherty, C. 2008. *Plant Litter*. Springer. Berlin Heidelberg, Alemania.
- Boto, K.G., Wellington, J.T. 1984. Soil Characteristics and Nutrient Status in a North Australian Forest. *Estuaries* 7, 61-69.
- Bouillon, S., Borges, A.V., Castañeda-Moya, E., Diele, E., Dittmar, K., Duke, T., Smith, V.H. 2008. Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles* 22:GB2013.
- Bunt, J.S. 1982. Studies of mangrove litterfall in tropical Australia. En: Clough, B.F., (Ed.), *Mangrove Ecosystems in Australia: Structure, Function and Management*, pp. 223-237. Australian Institute of Marine Science in Association with Australian Natural University Press, Canberra, Australia.
- Chen, R., Twilley, R.R. 1999. Pattern of mangrove forest structure and soil nutrient dynamics along the Shark River Estuary, Florida. *Estuaries* 22, 955-970.
- CONAGUA-SMN-EMAS 2017. *Estación Meteorológica Paraíso, Tabasco*. Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional. [Recurso en línea] Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- Conde, K. 2014. Evaluación estacional de los parámetros ecológicos en hábitats críticos de la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, Campeche, México: Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur.
- Contreras, E.F. 1993. Ecosistemas costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Ixtapalapa), México, 415.
- Coronado-Molina, C., Álvarez-Guillen, H., Day-Jr, J.W., Reyes, E., Pérez, B.C., Vera-Herrera, F., Twilley, R. 2012. Litterfall dynamics in carbonate and deltaic mangrove ecosystems in the Gulf of Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 123-136.
- Day, J.W., Conner, W.H., Ley-Lou, F., Navarro, A.M. 1987. The Productivity and Composition of Mangrove Forests, Laguna de Terminos, Mexico. *Aquatic Botany* 27, 267-284.
- Day-Jr, J.W., Coronado-Molina, C., Vera-Herrera, F.R., Twilley, R., Rivera-Monroy, V.H., Álvarez-Guillen, H., Conner, W. 1996. A 7-year record of aboveground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany* 39-60.
- Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., Martínez-Zurimendi, P. 2011. *Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México. p. 137, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México.
- Domínguez, J.C., Sánchez, A.J., Florido, R., Barba, M.E. 2003. Distribución de los macrocrustáceos en la Laguna Mecoacán, al sur del Golfo de México. *Hidrobiología* 13(002), 127-136.
- Espinosa-Garduño, M. 2012. *Evaluación y monitoreo de manglar en la Reserva de la Biosfera Los Petenes con énfasis en criterios de sustentabilidad y desarrollo*. Asociación Territorios Vivos A. C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FN004. México, D.F., México.
- Estado de Tabasco 2019. Acuerdo por el que se declara Área Natural Protegida de jurisdicción estatal con la categoría de Parque Estatal a la "Laguna Mecoacán". *Periódico Oficial de Tabasco* N° 8040, Suplemento H, del 25 de septiembre de 2019. <https://tabasco.gob.mx/PeriodicoOficial/Descargar/957>
- Estrada-Durán, G., Cupul-Magaña, F.G., Cupul-Magaña, A.L. 2001. Aspectos de la estructura y producción de hojarasca del bosque de manglar del Estero El Salado, Puerto Vallarta, Jalisco. *Ciencia y Mar* 15, 3-12.
- Félix-Pico, E.F., Holguín-Quñones, O.E., Hernández-Herrera, A., Flores-Verdugo, F. 2006. Producción primaria de los mangles del Estero El Conchalito en Bahía de La Paz (Baja California Sur, México). *Ciencias Marinas* 32(1A), 53-63.
- Feller, I.C., Whigham, D.F., McKee, K.L., Lovelock, C.E. 2003. Nitrogen limitation of growth and nutrient dynamics in a disturbed mangrove forest, Indian River Lagoon, Florida. *Oecologia* 134:405-414.
- Fromard, F., Vega, C., Proisy, C. 2004. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology* 208:265-280.
- Galaviz-Solis, A., Gutiérrez-Estrada, M., Castro Del Río, A. 1987. Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 14(2), 1-23.
- García-Cubas, A., Escobar, D.F., González, A.L. Reguero, M., 1990. Moluscos de la Laguna Mecoacán, Tabasco, México: Sistemática y Ecología. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 17(1), 1-30.
- Gómez, H.A. 1977. Determinación de corrientes en la laguna costera Mecoacán de Tabasco, México. *Ciencias Marinas* 4(1), 67-80.
- Infante, M.D. 2011. Estructura y dinámica de las selvas inundables de la planicie costera central del Golfo de México. (Tesis de Doctorado). IN-ECOL. A.C., Jalapa, Veracruz, México.
- Infante-Mata, D., Tovilla-Hernández, C., Ovalle-Estrada, F., De-La-Presa, J.C., Cruz-Montes, G., López-Urbina, J.H. 2014. Caracterización de la salinidad en la temporada de secas en manglares y otros humedales de la laguna Mecoacán, Tabasco. En: González-Espinoza, M., Brunel-Manse, M. C., (Eds.), *Montañas, pueblo y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva*, pp. 283-196. El Colegio de la Frontera Sur. Juan Pablos Editor. México D.F., México.
- Klute, A. 1986. *Methods of soils analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). Madison, Wisconsin, Estados Unidos, pp. 1188.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., Marchand, C. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquatic Botany* 89(2), 201-219.
- López-Portillo, J., Ezcurra, E. 1985. Response of three mangroves to salinity in two geoforms. *Functional Ecology* 3, 355-361.
- Lugo, A.E., Brinson, M.M. 1988. Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. *Limnology and Oceanography* 33, 894-909.
- Lugo, A.E., Snedaker, S.C. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 5, 39-64.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., González, A. 2007. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 46(2), 137-145.
- Mitsch, W.J. Gosselink, J.G., 2000. *Wetlands*. John Wiley and Sons. Nueva York, Estados Unidos.
- Moreno-Casasola, P., Warner, B.G. 2009. *Breviario para describir, observar y manejar humedales*. Serie Costa Sustentable no 1. RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, México.
- Onuf, C.P., Teal, J.M., Valiela, I.Z. 1977. Interactions of nutrients, plant growth and herbivory in a mangrove ecosystem. *Ecology* 58: 514-526.
- Orihuela-Belmonte, D.E., Tovilla-Hernández, C., Franciscus, M.H., Álvarez-Legorreta, T. 2004. Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. *Madera y Bosques* 10(Es2), 45-61.
- Orozco-Vega, H., Dreckmann, K.M. 1995. Macroalgas estuarinas del litoral Mexicano del Golfo de México. *Cryptogamie Algologie Journal* 16(3), 189-198.
- Pennington, T.D., Sarukhán, J. 2005. *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. UNAM/ FCE. México. D.F., México.
- Peralta, P.L., Infante, D.M., Moreno-Casasola, P. 2009. Construcción e instalación de Piezómetros. En: Moreno-Casasola, P., Warner B.G. *Breviario para describir, observar y manejar humedales*, pp. 17-30. Serie Costa Sustentable no 1. RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, México.
- Pool, D.J., Lugo, A.E., Snedaker, S.C. 1975. Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico. En: Walsh, G.E., Snedaker, S.C., Teas, H.T. (Eds.) *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves Vol. 1*, pp. 213-237. Universidad de Florida. Gainesville, Estados Unidos.
- Rico-Gray, V., Lot-Helgueras, A. 1983. Producción de hojarasca del manglar de la Laguna de la Mancha. *Biótica* 8(3), 295-301.
- Rivera-Monroy, V., Day, J.W., Twilley, R.R., Vera-Herrera, F., Coronado-Molina, C. 1995. Flux of nitrogen and sediment in a fringe mangrove forest in Teminos lagoon México. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40:139-160.
- Saenger, P., Snedaker, S.C. 1993. Pantropical trends are mangrove above-ground biomass and litter fall. *Oecologia* 96: 293-299.
- Sánchez-Andrés, R., Sánchez-Carrillo, S., Alatorre, L. C., Cirujano, S., Álvarez-Cobelas, M. 2010. Litterfall dynamics and nutrient decomposition of arid mangroves in the Gulf of California: Their role sustaining ecosystem heterotrophy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 191-199.
- Steel, A., Torrie, M. 1996. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Segunda edición. McGrawHill. México D.F. México.

- Steinke, T.D., Charles, L.M. 1984. Productivity and phenology of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam. in Mgeni estuary, South Africa. En: Teas, H.I. (Ed), *Physiology and management of mangroves*. Junk Publishers, La Haya, Países Bajos.
- Torres, J.R., Infante-Mata, D., Sánchez, A.J., Espinoza-Tenorio, A., Barba, E. 2017. Atributos estructurales, productividad (hojarasca) y fenología del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 65 (4): 1592-1608.
- Torres, J. R., Infante-Mata, D., Sánchez, A. J., Espinoza-Tenorio, A., Barba, E. 2018a. Degradación de hojarasca y aporte de nutrientes del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 66(2): 892-907.
- Torres, J.R., Barba, E., Choix, F.J. 2018b. Mangrove Productivity and Phenology in Relation to Hydroperiod and Physical–Chemistry Properties of Water and Sediment in Biosphere Reserve, Centla Wetland, Mexico. *Tropical Conservation Science* 11, 1-14.
- Walkley, A., Black, L.A. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acidtitration method. *Soil science* 37, 29-38.
- West, R.C., Psuty, N.P., Thom, B.G. 1976. *Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México*. Gobierno del estado de Tabasco. Villahermosa, México.
- Williams, W.T., Bunt, J.S., Duke, N.C. 1981. Mangrove litter fall in north-eastern Australia. II Periodicity. *Australian Journal of Botany* 29, 555-63.