



Estructura de los manglares de Jácome, Veracruz, México (Sitio Ramsar 1602)

María del Carmen Martínez-García¹ , Ana Laura Lara-Domínguez^{1,*} 

(1) Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: A.L. Lara-Domínguez [ana.lara@inecol.mx]

> Recibido el 29 de julio de 2022 - Aceptado el 21 de noviembre de 2023

Como citar: Martínez-García, M. del C., Lara-Domínguez, A. L. 2023. Estructura de los manglares de Jácome, Veracruz, México (Sitio Ramsar 1602). *Ecosistemas* 32(3): 2432. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2432>

Estructura de los manglares de Jácome, Veracruz, México (Sitio Ramsar 1602)

Resumen: El objetivo general fue realizar una primera evaluación del estado de conservación de la estructura de los manglares del estero de Jácome. En esta zona hay una creciente actividad industrial y portuaria, que podría impactar las condiciones del humedal, por lo que es necesaria una evaluación de la estructura del sistema para poder detectar modificaciones. Dividimos el área por la posible distribución de las especies de manglar en: Zona 1 Jácome, Zona 2 Marinos y Zona 3 TPT. Empleamos el Método del Cuadrante Central (PCQM), medimos la altura y el diámetro a la altura del pecho, y calculamos: área basal, densidad, Índice de Valor de Importancia e Índice de Complejidad. Distinguimos dos tipos fisonómicos: borde (Zona 1), dominado por *Rhizophora mangle* (83.12%), y cuenca (Zonas 2 y 3), dominado por *Avicennia germinans* (50.0%) y *Laguncularia racemosa* (51.2%) respectivamente. La mayor densidad está en la Zona 1 y la mayor altura en la Zona 3; la Zona 2 tiene el mayor índice de complejidad por la presencia de las tres especies. El manglar del estero Jácome se identifica como maduro. Hay diferencias estadísticamente significativas en salinidad y área basal por zona ($P < 0.0001$). Este trabajo contribuye a la generación de información sobre el estado de conservación del manglar poco estudiado del Sitio Ramsar, que sirve para la gestión y conservación de estos manglares cercanos al desarrollo portuario.

Palabras clave: desarrollo portuario; gestión costera; Ramsar; salinidad; zonificación

Structure of the Jácome mangroves, Veracruz, Mexico (Ramsar Site 1602)

Abstract: The general objective was to carry out a first evaluation of the conservation status of the mangrove structure of the Jácome estuary. In this area, there is growing industrial and port activity, which could impact the conditions of the wetland, hence, evaluating the system's structure is necessary to detect modifications. The area was divided based on the possible distribution of mangrove species into Zone 1 Jácome, Zone 2 Marinos and Zone 3 TPT. The central Quadrant Method (PCQM) was used, height and diameter at breast height were measured and basal area, density, Importance Value Index and Complexity Index were calculated. Two physiognomic types were distinguished: edge (Zone 1), dominated by *Rhizophora mangle* (83.12%), and basin (Zones 2 and 3), dominated by *Avicennia germinans* (50.0%) and *Laguncularia racemosa* (51.2%) respectively. The highest density is in Zone 1, and the highest altitude is in Zone 3; Zone 2 has the highest complexity index due to the presence of the three species. The mangrove in the Jácome estuary is identified as mature. There are statistically significant differences in salinity and basal area by zone ($P < 0.0001$). This work contributes to the generation of information on the conservation status of the little-studied mangrove of the Ramsar Site, which serves to manage and conserve these mangroves near the port development.

Keywords: port development; coastal management; Ramsar; salinity; zoning

Introducción

La Convención Ramsar sobre los Humedales, es un tratado intergubernamental de 172 países que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Fue adoptada en la ciudad iraní de Ramsar en 1971, entró en vigor en 1975 y es el único tratado global relativo al medio ambiente que se ocupa de un tipo de ecosistema en particular. En 1986, México se sumó a la Convención, cuando registró el humedal Reserva de la Biosfera Ría Lagartos a la Lista Ramsar (Lista de Humedales de Importancia Internacional). En la actualidad, esta lista incluye más de 2400 sitios que abarcan 2.5 millones de kilómetros cuadrados, de los cuales casi la mitad son humedales intermareales arbolados, principalmente manglares (Ramsar 2016). Los manglares se distribuyen en

latitudes tropicales y subtropicales, y cubren el 12% de las costas del mundo (Giri et al. 2015). Este ecosistema es especialmente importante, por los servicios ecosistémicos que proporciona como es el control de inundaciones, la protección de la costa contra huracanes, es fuente de nutrientes para ecosistemas vecinos como pastos marinos y arrecifes de coral, captura de gases de efecto invernadero, son almacenes de carbono, hábitat refugio para diferentes especies entre ellas varias de importancia pesquera, entre otros. (FAO 2007; Sandilyan y Kathiresan 2012; Velázquez Salazar et al. 2021). A pesar de la importancia de los manglares, el ecosistema está altamente amenazado. La pérdida mundial de manglares se ha atribuido principalmente a la actividad humana como la deforestación, la conversión a la acuicultura y el desarrollo urbano (Alongi y Mukhopadhyay 2015). Cuando los humedales son incluidos en la Lista, se asume la obligación de promover la conservación de sus atribu-

tos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos e hidrológicos (Ramsar 2010b). Así mismo, es necesario considerar las Resoluciones de la COP14 2022, pertinentes sobre el estado del humedal (Resolución XIV.13 2022 (Ramsar 2022a)), así como sobre las medidas de protección, conservación restauración, uso sostenible y gestión para hacer frente al cambio climático (Resolución XIV.17 2022 (Ramsar 2022b)). La importancia ecológica y social de los manglares del estero de Jácome se respaldó en el 2006 con la denominación del sitio Ramsar 1602 Manglares y Humedales de Tuxpan, al norte del Estado de Veracruz. Este sitio comprende los humedales asociados a la Laguna de Tampamachoco y al Estero de Tumulco y Jácome (Rodríguez Luna et al. 2011). En esta zona, desde 2013 existe una creciente actividad industrial y portuaria (API-TUX 2017), la cual podría impactar las condiciones ecológicas del humedal, siendo necesario tener una evaluación constante de los atributos del sistema y detectar cualquier modificación en las condiciones ecológicas establecidas como línea base (Ramsar 2016). Semeniuk y Cresswell (2018) establecen que la estructura de los manglares asociados a los puertos, puede ser impactada debido a los cambios en la dinámica hidrológica, fragmentación del hábitat, erosión del suelo y cambios en la salinidad del agua causando estrés fisiológico en las plantas de mangle.

Desde que el Sitio Ramsar 1602 fue incluido en la lista de humedales de importancia internacional, no se ha actualizado la FIR (Ficha Informativa de los Sitios Ramsar) y los mapas correspondientes. Además, carece de información sobre los atributos estructurales de los manglares. En la actualidad son pocos los estudios que aportan información reciente sobre el estado del sitio que ayude a considerar medidas de manejo y elaborar una planificación que promueva su uso racional de esta zona (Ramsar 2016). El Sitio está dominado por manglar, y se cuenta con estudios de la estructura de los manglares asociados a la Laguna de Tampamachoco y al Estero Tumulco (Basáñez-Muñoz et al. 2006, 2008; Reyes-Ortiz et al. 2017; Lara-Domínguez et al. 2020; Basáñez-Muñoz et al. 2021). Sin embargo, no se conocen sus atributos estructurales del estero de Jácome, cuya ubicación en la boca del río Tuxpan lo hacen vulnerable a las actividades portuarias.

Globalmente, México ocupa el cuarto lugar en extensión de manglares con una superficie de 905 086 ha, es decir, el 6.7% de los manglares del mundo (Velázquez-Salazar et al. 2021). Particularmente el estado de Veracruz tiene una extensión de 42 696 hectáreas de manglar y se distribuyen en forma segmentada en al menos 814 segmentos, de los cuales, 249 se encuentran en el municipio de Tuxpan y constituyen el Sitio Ramsar 1602 (López-Portillo et al. 2011a, Velázquez-Salazar et al. 2021).

La estructura y función de los ecosistemas de manglar constituyen una respuesta a las interacciones fisicoquímicas y bióticas produciendo un amplio gradiente de tipos de comunidades de manglar. Los factores ambientales como el hidoperíodo, la salinidad y la temperatura contribuyen en la complejidad estructural y dominancia de cada una de las especies de mangle (Ewel et al. 1998; Cavalcanti et al. 2009; López-Portillo et al. 2011b). Esta información ha sido utilizada para clasificar a las comunidades de manglar, proporcionando una visión del conjunto de los tipos de manglar y como las interacciones dominantes de las especies hacen frente al amplio rango de condiciones ambientales (Duke et al. 1998; Saenger 2002). Lugo y Snedaker (1974) y Twilley et al. (1996) describen los diferentes patrones de la estructura y función de los manglares a escala global. Siguiendo con esta propuesta, los trabajos de Lara-Domínguez et al. (2005), Agraz-Hernández et al. (2011) y Torres et al. (2017), contribuyen a la comprensión de la caracterización fisiológica de los manglares del Golfo de México y Caribe mexicano, categorizándolos en manglares de tipo ribereño, cuenca, marginales y enanos, donde la densidad, altura y área basal determinan la estructura forestal.

Considerando la falta de información de los manglares asociados al estero de Jácome y su importancia como estabilizador de la boca de conexión del río con el mar surge la necesidad de generar información de las condiciones del manglar. Esto para detectar los

cambios en el Sitio Ramsar ante los posibles impactos del desarrollo portuario. Además de que es esencial para la toma de decisiones en la planificación de las actividades y considerar medidas de manejo que permitan conservar los atributos del ecosistema. ¿Cuál es la estructura del manglar en este parche de manglar de aproximadamente de 300 ha, y cuáles podrían ser los factores físico-químicos que determinan su distribución? con la siguiente hipótesis de trabajo: si existieran algún cambio en las condiciones fisicoquímicas del agua por la implementación de actividades económicas entonces podrían registrarse diferencias estructurales en los manglares y esta información serviría en la toma de decisiones para su conservación ante la fuerte presión del desarrollo portuario e industrial que hay en la zona. Para lo cual se plantea como objetivo general realizar una primera evaluación del estado de conservación de la estructura de los manglares del estero de Jácome con los siguientes objetivos particulares: 1) describir los parámetros fisicoquímicos del agua a nivel de inundación e intersticial, 2) evaluar los atributos estructurales de densidad, área basal y altura de los manglares asociados al estero de Jácome de Tuxpan, Veracruz.

Materiales y método

Área de estudio

Los manglares asociados al estero de Jácome se encuentran dentro del Sitio Ramsar 1602, en la Llanura Costera del Golfo Norte en el estado de Veracruz, México, que se caracteriza por tener planicies fluviales amplias y estar protegida por cordones de duna. Este parche de manglar tiene una superficie aproximada de 300 ha (Fig. 1), que colindan al este con la desembocadura del río Tuxpan, al sureste con el cordón de dunas y al noroeste la Terminal Portuaria de Tuxpan (Basáñez-Muñoz 2005).

Para ubicar las zonas y transectos de estudio, se analizaron las imágenes de satélite de Google Earth Pro, en las cuales, se identificaron las diferentes texturas y colores del parche del estero de Jácome (García et al. 2019). Se identificaron tres zonas que pudieran proporcionar información sobre la posible distribución de las especies de manglar, así como sus diferencias estructurales. Las zonas fueron denominadas como: **Zona 1 Jácome**: se ubica dentro del estero con conexión al río; **Zona 2 Marinos**: limita con la vegetación de dunas en la zona este del manglar y **Zona 3 TPT**: se encuentra al suroeste del parche de manglar cercana a los predios de la Terminal Portuaria de Tuxpan (Fig. 1; Tabla 1). Se establecieron cuatro transectos de 120 m en cada una de las zonas de interés.

Obtención de datos

Parámetros Fisicoquímicos

Con el propósito de detectar si existen diferencias de los parámetros ambientales en las zonas identificadas, en cada punto del transecto donde se evaluó la estructura del manglar se midió *in situ* el nivel de inundación, los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial e inundación como son la salinidad, el potencial óxido-reducción (ORP), el pH y la temperatura con un multiparamétrico marca MYRON L® 6PFCE. Para las muestras de agua intersticial, se adaptó una flecha hueca de aluminio o fibra de carbono a una manguera con una jeringa de 60ml, con la cual se extrajo el agua a una profundidad de ~30 cm (nivel de las raíces).

Parámetros de la estructura forestal

Para evaluar la estructura del manglar en las diferentes zonas de estudio, se utilizó el método de Cuadrantes al Punto Central (PCQM, por sus siglas en inglés) de Cottam y Curtis (1956), y modificado para manglares por Citrón y Schaeffer-Novelli (1984). En cada zona se establecieron cuatro transectos de 120 m de longitud, con puntos cada 10 m. En cada punto, se trazó una cruz sobre la línea perpendicular conformado cuatro cuartos (Fig. 2). En total se establecieron 12 transectos con 120 puntos, censando 480 árboles. Araújo y Shideler (2019), y Mitchell (2010) señalan que la precisión del método aumenta con el número de árboles censados por zona.

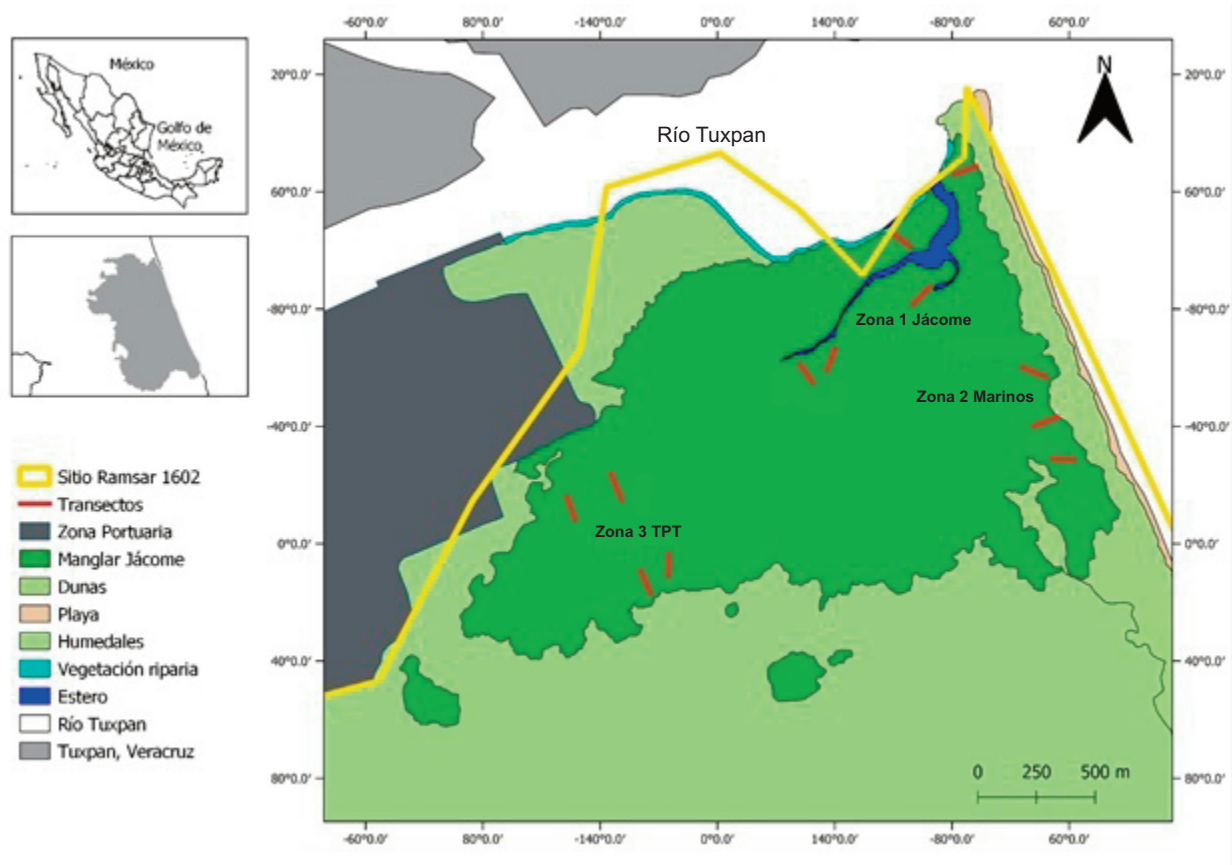


Figura 1. Ubicación del área de estudio y los transectos realizados en los manglares asociados al estero de Jácome. Zona 1 Jácome, Zona 2 Marinos y Zona 3 TPT (Terminal Portuaria de Tuxpan).

Figure 1. Location of the study area and the transects conducted in the mangroves associated with the Jácome estuary. Zone 1 Jácome, Zone 2 Marinos and Zone 3 TPT (Tuxpan Port Terminal).

Tabla 1. Coordenadas de inicio y final de los transectos de 120 m que se trazaron para evaluar la estructura del manglar con el método de Cuadrantes al Punto Central (PCQM, por sus siglas en inglés).

Table 1. We evaluated twelve transects of the 120 m each. The start and end coordinates assess the mangrove structure with the Point Center Quadrant Method (PCQM).

Zona	Transecto	INICIO		FINAL	
		latitud	longitud	latitud	longitud
1. Jácome	1	20.956583	-97.313431	20.955873	-97.312889
	2	20.957199	-97.311962	20.956349	-97.312283
	3	20.959551	-97.308041	20.958897	-97.308765
	4	20.961066	-97.308821	20.961648	-97.309592
2. Marinos	1	20.952825	-97.302178	20.952867	-97.303105
	2	20.95448	-97.302892	20.954116	-97.303824
	3	20.95636	-97.304255	2.095602	-97.303374
	4	20.964174	-97.306071	20.963869	-97.306998
3. TPT	1	20.951570	-97.323018	20.950719	-97.322673
	2	20.947418	-97.322416	20.947191	-97.323404
	3	20.947878	-97.319618	20.948691	-97.320022
	4	20.948546	-9.731887	20.949328	-97.318861

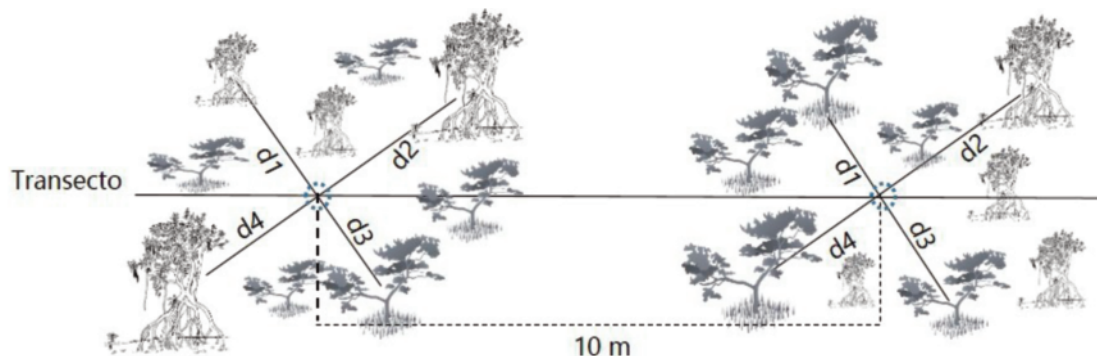


Figura 2. El método PCQM consiste en medir las distancias entre el punto central y el individuo más cercano en una muestra aleatoria a lo largo de un transecto, y se registran las variables estructurales del bosque de manglar.

Figure 2. The PCQM method consists of measuring the distances between the center point and the nearest individual in a random sample along a transect, and the structural variables of the mangrove forest are recorded.

Se consideraron solo árboles con un perímetro ≥ 8 cm (a una altura de 130 cm desde el suelo), a cada individuo censado se midió altura total y el perímetro para ser transformado a diámetro (D_{130} = diámetro del árbol a 130 cm). Para evitar los sesgos en las medidas de los D_{130} , en individuos mayores a 2 metros con fuste inclinado, con bifurcaciones o irregularidades como la especie *Rhizophora mangle* se aplicaron las recomendaciones sugeridas por Villeda-Chávez et al. (2018). Se estimaron las variables de la frecuencia, dominancia y abundancia de cada especie de mangle (Cintron y Schaeffer Novelli 1984).

Análisis estructural

Para la estimación de los parámetros estructurales por zona, se utilizó el paquete *mangroveStructure* para Rstudio, el cual automatiza tres valores relativos que se derivan del D_{130} , la densidad y la frecuencia. Estos valores se utilizan para interpretar la contribución de cada especie en términos de su área basal, la cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{Pi}{4} * ((D_{130}/100)^2)$$

Donde AB= área basal en m^2 , $Pi = 3.1416$ y D_{130} = diámetro a 130 cm. A partir de estos valores se puede calcular la dominancia relativa ($Dmr = AB$ de una especie / AB de todas las especies *100), frecuencia relativa ($Fr =$ Frecuencia absoluta por especie/ Frecuencia absoluta por zona*100) y densidad relativa ($Dr =$ densidad de una especie / la densidad total por zona * 100), (Mitchell 2010; Villeda-Chávez et al. 2018; Araújo y Shideler 2019).

Para conocer el valor estructural por zona, se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual resulta de la suma de los valores relativos de la densidad, dominancia y frecuencia de cada especie de mangle. El paquete *mangroveStructure* calcula el Índice de Complejidad (IC) a través de la siguiente ecuación:

$$IC = H * AB * D * N / 1000$$

Donde H= es la altura, AB= área basal, D= densidad y N= el número de especies.

Análisis Estadístico

Se usó un modelo lineal generalizado mixto para evaluar entre zonas la variación del D_{130} con relación a la altura de los árboles. Para el D_{130} se transforma \log_{10} y la altura sin transformar. Se empleó la plataforma R Foundation for Statistical Computing (R Core Team 2019). Para el post análisis se empleó la prueba de Tukey para comparar las tres zonas. Para los datos que no cumplieron con el supuesto de normalidad, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

Resultados

Parámetros fisicoquímicos

El nivel de inundación promedio en todas las zonas se registró por arriba del suelo variando de 2.3 cm a 12.6 cm en Jácome y TPT respectivamente (Fig. 3). De las tres zonas TPT tiene el mayor nivel de inundación con promedio de 8.9 cm. Tanto la Zona de Jácome y Marinos el nivel de inundación promedio es muy similar con 4.5 cm y 3.2 cm respectivamente.

Los resultados de la prueba Kruskal-Wallis para la comparación entre la salinidad (TDS) entre zonas, definidas en la metodología,

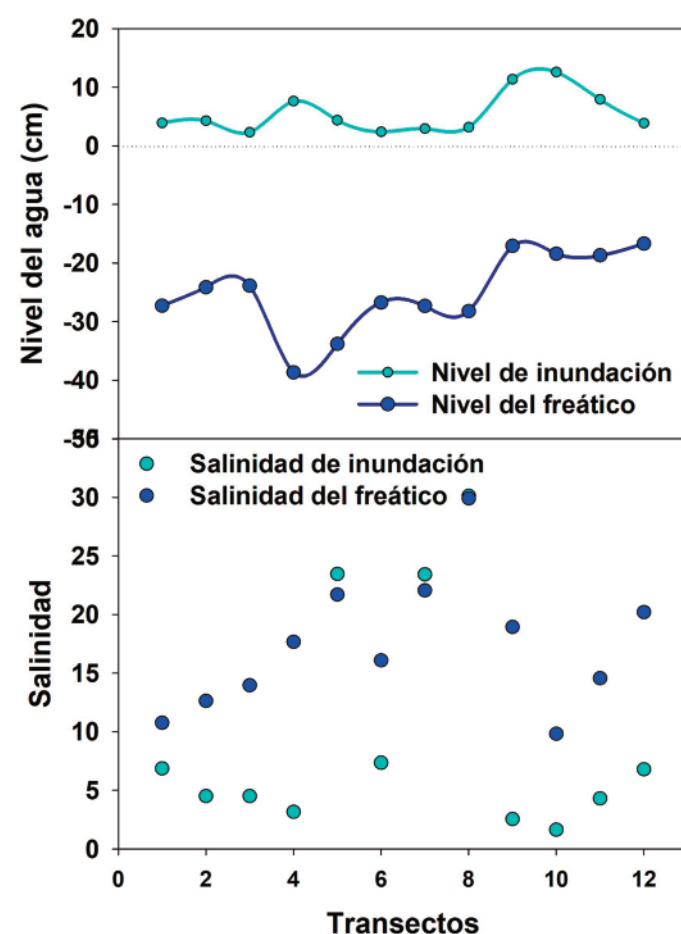


Figura 3. Variación promedio de cada transecto del nivel de inundación, nivel freático y salinidad. Zona 1 Jácome (transectos 1 a 4), Zona 2 Marinos (transectos 5 a 8) y Zona 3 TPT (transectos 9 a 12).

Figure 3. Average variation of each transect of flood level, water table and salinity. Zone 1 Jácome (transects 1 to 4), zone 2 Marinos (transects 5 to 8) and zone 3 TPT (transects 9 to 12).

demonstró que hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores de salinidad por zona ($X^2= 66.649$, $P<0.0001$). La Zona 2 Marinos registró los valores promedio más altos 20.69 ± 9.32 de salinidad mientras que para Zona 1 Jácome y Zona 3 TPT fueron similares.

Estructura forestal

Se distinguen dos asociaciones fisonómicas. En el estero de Jácome, Zona 1, corresponden a un manglar de tipo borde dominado por *Rhizophora mangle* (83.12%). Mientras que la Zona 2 Marinos y Zona 3 TPT, es un manglar tipo cuenca (interno) dominado por *Avicennia germinans* (50%) y *Laguncularia racemosa* (51.2%) respectivamente. Además, en la Zona 2, se registró la presencia de *Conocarpus erectus*. La prueba de Kruskal-Wallis demostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre el área basal por zona ($X^2= 116.49$, $P<0.0001$). La altura promedio del dosel de los manglares asociados al estero de Jácome fue de 7.57 ± 3.60 metros. En la **Figura 4** se observa la relación entre la altura y el D_{130} por Zona.

Los resultados de la ANOVA del modelo lineal generalizado y la prueba de Tukey permitieron comparar la variabilidad de las medias entre los valores obtenidos de la altura y el D_{130} por Zona, diferenciando así, a las comunidades de manglar (**Tabla 2**). Se observó que, conforme los transectos se alejan del borde del estero, hay tendencia a incrementar la altura de los árboles, constituyendo así, tres comunidades diferentes por altura, mientras que por su D_{130} Jácome y TPT son estadísticamente diferentes, mientras que los marinos no difieren estadísticamente entre Jácome y TPT.

Características estructurales por Zona

En la **Tabla 3**, se describen las características estructurales por especie de cada Zona (D_{130} , altura, densidad y área basal) y en la

Tabla 4 los valores de la densidad relativa, cobertura, frecuencia relativa, así como el Valor de Importancia por especie:

Zona 1 Jácome: es un manglar de borde dominado por *Rhizophora mangle*, registra la mayor densidad arbórea (920 árboles ha^{-1}); tienen un área basal total de $9.81 m^2 ha^{-1}$. Se registraron árboles de *Laguncularia racemosa* con D_{130} de 70.04 cm. El estrato arbóreo tiene una altura promedio de 4.7 m.

Zona 2 Marinos: se caracteriza como bosque tipo cuenca mixto compuesto por las cuatro especies de manglar. *A. germinans* es la especie dominante, tanto en densidad como área basal. La altura promedio del estrato arbóreo es de 8.10 m, con un área basal total de 11.53. La densidad total son 371 árboles por ha^{-1} . En esta Zona la presencia de *Conocarpus erectus* incrementa la diversidad de especies.

Zona 3 TPT: corresponde a un bosque mixto tipo cuenca. La especie dominante es *L. racemosa*; sin embargo, *A. germinans* mostró los diámetros más altos (107.49 cm) en comparación con la zona 1 y 2. Aquí se registran los árboles más altos (10.45 m) en comparación con las otras zonas. Fue la zona con la menor densidad arbórea (164 árboles por ha^{-1}); con un área basal total de $8.09 m^2 ha^{-1}$.

El valor más alto del Índice de Valor de Importancia (IVI) en la Zona 1 Jácome lo registró *Rhizophora mangle*, en la zona 2 Marinos fue *Avicennia germinans*, mientras que en la Zona 3 TPT es similar para *A. germinans* con *L. racemosa* (**Tabla 4**). Es importante destacar que el índice de complejidad (IC) más alto se registró en el manglar de la Zona 2 Marinos en relación con las otras dos áreas y esto se debe a la presencia de las cuatro especies de manglar. La Zona 1 tiene un IC intermedio atribuido a la alta densidad de individuos de manglar rojo y la Zona 3 el menor valor de IC donde se registra la mayor altura de los árboles y la menor densidad (**Fig. 5; Tabla 3**).

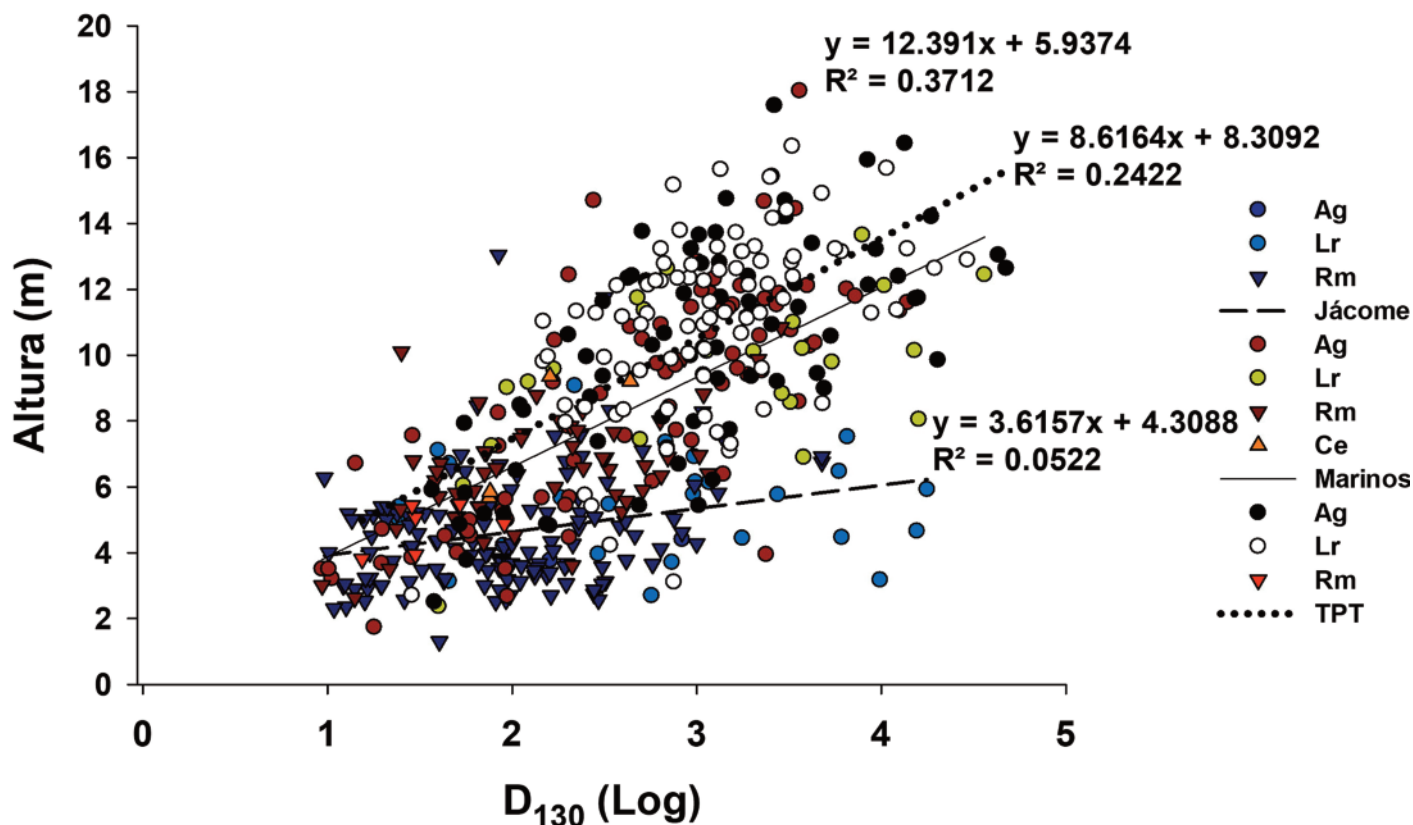


Figura 4. Relación entre el diámetro a la altura del pecho (D_{130}) y la altura de los árboles por zona de estudio.

Figure 4. Relationship between the diameter at breast height (D_{130}) and the height of the trees by study area.

Tabla 2. Resultados de la ANOVA del modelo lineal generalizado mixto y prueba de Tukey tanto para la altura como para el D_{130} comparando los tres sitios $N=480$.**Table 2.** ANOVA results of the generalized linear mixed model and Tukey's test for both height and DBH_{130} comparing the three sites $N=480$.

Zona	Altura				
	media	Error estándar	Valor de T	valor de p	Grupo
1. Jácome	4.73	0.57	8.3	< 0.0001	a
2. Marinos	8.19	0.57	4.3	0.003	b
3. TPT	10.45	0.57	1.1	0.04	c
Zona	D_{130}				
	media	Error estándar	Valor de T	valor de p	Grupo
1. Jácome	8.1	1.16	14.2	< 0.0001	a
2. Marinos	12.8	1.16	2.2	0.05	ab
3. TPT	19.8	1.16	4.2	< 0.0001	b

Tabla 3. Parámetros de la estructura forestal del manglar asociado al estero de Jácome. Donde sp. Especie, Ag *Avicennia germinans*, Lr *Laguncularia racemosa*, Rm *Rhizophora mangle*, Ce *Conocarpus erectus*.**Table 3.** Parameters of the forest structure of the mangrove associated with estero Jácome. Where sp. Species, Ag *Avicennia germinans*, Lr *Laguncularia racemosa*, Rm *Rhizophora mangle*, Ce *Conocarpus erectus*.

Zona / Tipo de manglar	Sp.	D_{130cm} \bar{x}	D_{130cm} Max.	h(m) \bar{x}	h(m) Max.	Densidad (árboles/ha)	AB ($m^2 ha^{-1}$)
1. Jácome Borde	Ag	13.83±6.71	18.57	4.1±0.45	4.4	11	0.19
	Lr	23.48±19.54	70.04	5.5±1.55	9	144	5.07
	Rm	8.46±5.94	39.61	4.6±1.72	13	764	4.54
2. Marinos Cuenca	Ag	18.88±13.04	62.9	8.73±3.44	18	186	6.27
	Lr	30.33±23.66	95.57	9.50±2.50	13.6	53	4.01
	Rm	10.24± 6.31	31.75	6.58±1.73	10.8	123	1.18
	Ce	9.04±3.52	14.01	7.52±2.04	9.4	9	0.07
3. TPT Cuenca	Ag	27.06±21.61	107.49	10.26±3.31	17.6	74	4.47
	Lr	24.44±14.52	87.06	11.04±2.76	16.3	84	3.60
	Rm	4.83±1.32	7.08	4.77±0.73	5.5	6	0.01

Tabla 4. Valores relativos e Índice del Valor de Importancia para cada especie por zona.**Table 4.** Relative values and Importance Value Index for each species by zone.

Zona	Sp.	Densidad (%)	Cobertura (%)	Frecuencia (%)	IVI
Zona 1. Jácome	Ag	1	1.2	3	7
	Lr	16	62.9	30	97
	Rm	83	35.9	67	196
Zona 2. Marinos	Ag	50	50.3	47	151
	Lr	14	40.1	20	69
	Rm	33	9.1	29	72
	CE	3	0.4	5	8
Zona 3. TPT	Ag	45	56.5	45	148
	Lr	51	43.4	48	142
	Rm	4	0.1	7	10

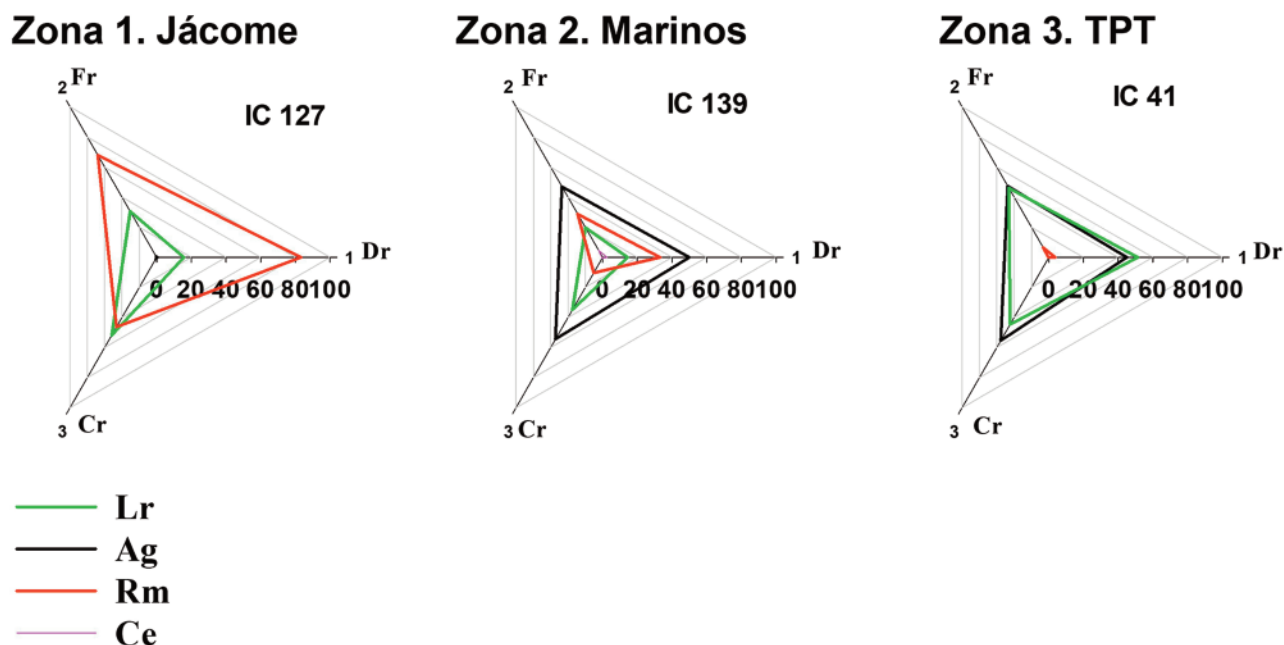


Figura 5. Valores relativos de la estructura del manglar por zona. Donde Dr es densidad relativa, Fr frecuencia relativa, ABr Área Basal relativa e IC índice de complejidad, Lr *Laguncularia racemosa*, Ag *Avicennia germinans*, Rm *Rhizophora mangle*, Ce *Conocarpus erectus*.

Figure 5. Relative values of mangrove structure by zone. Where Dr is relative density, Fr relative frequency, ABr relative basal area and IC complexity index, Lr *Laguncularia racemosa*, Ag *Avicennia germinans*, Rm *Rhizophora mangle*, Ce *Conocarpus erectus*.

Discusión

Estos resultados justifican la selección de las tres zonas de estudio y su representatividad para dar seguimiento a largo plazo. La distribución de las especies de mangle del estero de Jácome parece estar relacionada con el nivel de inundación y salinidad (Torres et al. 2017; Peters et al. 2020), ya que se observó una zonificación en la cual, los manglares de tipo borde (Zona 1 Jácome) presentan una mayor densidad de *Rhizophora mangle* (Rm) en salinidad intersticial baja, mientras que los manglares de tipo cuenca (Zonas 2 Marinos y 3 TPT) presentan un desarrollo estructural mayor asociado a una mayor salinidad intersticial. La presencia de *Conocarpus erectus* en la Zona 2 Marinos indica que es un área topográficamente más elevada que las otras dos con menor inundación y con el freático más superficial (Pool et al. 1977; Basáñez et al. 2008). Esta distribución es el resultado de la adaptación de las especies a los rasgos geomorfológicos (Twilley et al. 1996; López-Portillo y Ezcurra 2002; Zaldívar-Jiménez et al. 2010).

En las tres zonas se hallaron árboles multi-tallo, lo que representa una complejidad estructural mayor. De acuerdo a Osland et al. (2018), estos atributos de *Avicennia germinans* son más evidentes en las partes frías del Golfo de México debido a la temperatura del aire y los regímenes de precipitación. Esto podría influir en las diferencias de densidad de individuos para cada zona, ya que en promedio entre el punto central y el individuo es de 7.8 m en la Zona 3 TPT, siendo bosques abiertos, mientras que en la Zona 1 Jácome, los árboles tienen en promedio una distancia de 3.3 m entre individuos. Así como también se puede relacionar con el área basal, ya que a mayor área basal menor densidad, que corresponden a valores de bosques maduros (Turner y Corlette 1996). Las localidades con mayor densidad, pero con un área basal menor, como en el caso de la Zona 1 Jácome, se refieren a un bosque más joven (Navarro-Rodríguez et al. 2019).

La altura promedio de los manglares tipo planicie lodosa en el Estero de Tumilco al sur de Jácome, muestran semejanzas con los manglares tipo cuenca de la Zona 3, donde *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* son las especies más abundantes, con una altura promedio de 10.26 m y de 11.04 m respectivamente (Lara-Domínguez et al. 2020). Pero no lo es para el área basal del mangle negro que registra 34.8 m²ha⁻¹ la cual difiere significativamente con lo encontrado en este trabajo. Las alturas promedio en

los manglares de Mandinga, Veracruz y Laguna de Términos en Campeche oscila entre los 4 m y 5 m para un manglar de borde de *Rhizophora mangle* (Paniagua-Cano et al. 2018; Echeverría-Ávila et al. 2019). Por otro lado, la densidad de *R. mangle* en la Zona 1 Jácome, es mucho mayor que lo hallado en Mandinga (170 árboles ha⁻¹). Agraz-Hernández et al. (2011) sugiere que, esta mayor densidad de árboles de Rm es característica de zonas con inundaciones frecuentes, escasa formación de suelo y bajas salinidades, lo cual es muy característico de los manglares que bordean al estero de Jácome.

La caracterización de los atributos por zonas permitió identificar que la complejidad estructural de los manglares va de Zona 2 -> Zona 3 -> Zona 1. Este incremento en la estructura de los manglares de tipo planicie lodosa con el predominio en área basal y altura tanto del mangle blanco como del mangle negro. Mientras que el manglar tipo borde el principal atributo estructural es una mayor densidad. Es importante destacar que la Zona 3 TPT tiene el área basal y altura promedio más grande en relación a las otras dos zonas, pero la densidad es más de 5 veces menor a la Zona 1 Jácome y dos veces menor que la Zona 2 Marinos. De acuerdo a Romero-Berny y Tovilla-Hernández (2009), los valores del IC son influenciados por la altura de los árboles, la densidad y área basal.

En la Laguna de La Mancha Agraz-Hernández et al. (2011) encuentra que los manglares en el sur de la laguna son de tipo ribereño con los valores altos de densidad, área basal y altura favorecidos por una constante contribución de agua dulce proveniente del Caño Grande, como se observa en la Zona 1 Jácome que está conectada con el Río Tuxpan. En los manglares del estero de Jácome presentan valores del índice de complejidad comparable la Zona 3 TPT con manglares tipo arbustivo de Florida o bien la Zona 1 Jácome con los manglares de franja de Punta Gorda en Puerto Rico reportado por Pool et al. (1977). Asimismo, con los manglares de altura mayor de dos metros del subtipo bajo como los que desarrollan en la Península de Yucatán (Lara-domínguez et al. 2005).

Hasta el momento no se han observado impactos negativos en el manglar, pero consideramos importante seguir las recomendaciones de Kolman (2014); Boerema y Meire (2017); Semeniuk y Cresswell (2018) para que los desarrollos portuarios en México y particularmente en Tuxpan, Veracruz, ejerzan de manera sostenible sus actividades. Esto es, que no se pongan en riesgo el flujo de

bienes y servicios ecosistémicos, los cuales, a medida que las actividades portuarias sigan y se desconozca esta información, se podría ocasionar la fragmentación y degradación de los ecosistemas, que afectan la calidad de vida de las comunidades locales y con estos resultados se pueden plantear medidas de mitigación y evitar algún impacto (Álvarez 2010; Kudale 2010). Además, al formar parte de un humedal de importancia internacional, los usuarios y en este caso, concesionarios de las zonas aledañas al estero de Jácome, deben tener como misión el uso racional y mantenimiento de sus características ecológicas de estos humedales en beneficio de la humanidad (Ramsar 2010a; McInnes et al. 2017; Resoluciones XIV. 13 (Ramsar 2022a) y 17 (Ramsar 2022b)). Así mismo contribuir con información para la actualización de la ficha Ramsar 1602, ya que de acuerdo con las recomendaciones de Ramsar (2018) y El Plan Estratégico de Ramsar para 2016-2024 (Resolución XII.2 2015; (Ramsar 2015)), esta debe ser actualizada cada ocho años, y así apoyar en los esfuerzos para evitar la disminución de los manglares del mundo.

Conclusión

Esta investigación contribuye en la generación de conocimiento de los manglares asociados al estero de Jácome, donde se puede observar diferencias estructurales por zona. Información que sirve como antecedente para evaluar si las actuales actividades de desarrollo portuario podrían tener impacto sobre la vegetación de manglar en el futuro.

Es importante mencionar que el conocimiento de la dinámica forestal ayudará a generar futuras estrategias de conservación de este ecosistema a través de un manejo basado en ecosistemas. Así como en contribuir a alcanzar los objetivos del plan estratégico de Ramsar para 2016-2024 (Ramsar 2015).

Agradecimientos

Al Instituto de Ecología A.C., que a través del "Programa 1-3: Programa de protección de manglares para el cumplimiento del resolutive S.G.P.A./D.I.R.A./D.G. 8467 de la MIA-R del proyecto "La Guadalupana" de la empresa Riberas del Pantepec (ahora Tuxpan Port Terminal), ubicado en la ribera sur del río Tuxpan, municipio de Tuxpan, Veracruz" Contrato INECOL-TPT, se obtuvo el financiamiento para el desarrollo de las actividades de campo. Al Dr. Jorge López-Portillo G., al equipo técnico del grupo "Ecología de Manglares" del Instituto de Ecología A.C particularmente Arlene Ibarra Villanueva, Moisés Rivera Rodríguez, Mauricio Hernández Sánchez, Alejandro Corona Salto y Yuridia González González que apoyaron en los trabajos de campo, Laura Aguirre en las pruebas estadísticas y Rodrigo Sáinz Lara la revisión del abstract.

Contribución de los autores

Ma. Del Carmen Martínez García trabajo de toma de datos en campo, preparación y redacción del manuscrito; aplicación de pruebas estadísticas y síntesis de datos. Ana Laura Lara Domínguez coordinación de la planificación y ejecución de la actividad de investigación, redacción del manuscrito; aplicación de pruebas estadísticas y síntesis de datos, apoyo financiero y de recursos.

Referencias

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 Ecology and Management* 19, 273-293. <https://doi.org/10.1007/s11273-011-9216-4>

Alongi, D.M., Mukhopadhyay, S.K. 2015. Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas. *Agricultural and forest meteorology* 213, 266-272.

Álvarez, C.F. 2010. Capital natural crítico y función de hábitat como aproximación a la complejidad ambiental. *Delta* 7(2), 132-149.

APITUX (Administración Portuaria Integral de Tuxpan S.A. de C.V.) 2017. *Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Tuxpan 2017-2022*. Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Secretaría de Marina. Estados Unidos Mexicanos.

Araújo, R.J., Shideler, G.S. 2019. An R package for computation of mangrove forest structural parameters using plot and plotless methods. *Madera y Bosques* 25(1), 1-18. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511696>

Basáñez-Muñoz, A. 2005. *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. Universidad Veracruzana, México. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/RISApp/files/RISrep/MX1602RIS.pdf>

Basáñez-Muñoz, A. de J., Olmedo Pérez, G., Rojas-Mencio, P. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 6(1), 114-120.

Basáñez-Muñoz, A., Cruz Lucas, M.A., Domínguez Barradas, C., González Gándara, C., Serrano Solís, A., Hernández Azuara, A. 2008. Structure and production of *Conocarpus erectus* L. at the Ramsar Site "Manglares y Humedales de Tuxpan", Veracruz, Mexico. *Revista Científica UDO Agrícola* 8(1), 78-87.

Basáñez-Muñoz, A.D.J., Jordán-Garza, A.G., Serrano, A. 2021. Forest Structure and Projections of *Avicennia germinans* (L.) L. at Three Levels of Perturbation in a Southwestern Gulf of Mexico Mangrove. *Forests* 12(8), 989.

Boerema, A., Meire, P. 2017. Towards Sustainable Port Development. *Terra et Aqua* 149, 5-17

Cavalcanti, V.F., Soares, M.L.G., Estrada, G.C.D., Chaves, F.O. 2009. Evaluating Mangrove Conservation through the Analysis of Forest Structure Data. *Journal of Coastal Research* 1(56), 390-394.

Cintron, G., Schaeffer Novelli, Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. *Monographs on oceanographic methodology* 8, 91-113.

Cottam B., Curtis, J. 1956. Use of distance measures in phytosocial sampling. *Ecology* 37:451-460. <https://doi.org/10.2307/1930167>

Duke, N.C., Ball, M.C., Ellison, J.C. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7(1), 27-47. <https://doi.org/10.2307/2997695>

Echeverría-Ávila, S., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Canales-Delgado, J., Brito-Pérez, R., Merino-Ibarra, M., Vovides, A. 2019. Natural regeneration of degraded mangrove sites in response to hydrological restoration. *Madera y Bosques* 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511754>

Ewel, K.C., Twilley, R.R., Ong, J.E. 1998. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7(1), 83-94. <https://doi.org/10.2307/2997700>

FAO 2007. The World's Mangroves 1980-2005. A Thematic Study in the Framework of the Global: Forest Resources Assessment. Food and Agricultural Organization. Roma, Italia. 77 pp.

García, L.G., Golubov, J., Mandujano, M.D.C., Lara-Domínguez, A.L., López-Portillo, J. 2019. Assessing Google Earth Pro images for detailed conservation diagnostics of mangrove communities. *Journal of Coastal Research* 92(SI), 33-43

Giri, C., Long, J., Abbas, S., Murali, R.M., Qamer, F.M., Pengra, B., Thau, D. 2015. Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. *Journal of environmental management* 148, 101-111.

Kolman, R. 2014. Introducing ecosystems services for port development. *Environment and Sustainability in Partnership With* 62, 181-183.

Kudale, M.D. 2010. Impact of port development on the coastline and the need for protection. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 39 (4), pp. 597-604.

Lara-Domínguez, A.L., Day, J.W., Villalobos, G., Twilley, R.R., Alvarez, H., Yáñez-Arancibia, A. 2005. Structure of a unique inland mangrove forest assemblage in fossil lagoons on the Caribbean Coast of Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 13, 111-122

Lara-Domínguez, A.L., Herrera-Silveira, J., Agraz-Hernández, C.M., López-Portillo, J.A. 2020. *Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional*. Informe Integrado SNIB-CONABIO, Síntesis de los Proyectos KN001_Campeche, KN002_Veracruz y KN003_Península de Yucatán. Ciudad de México. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfKN002_in_tegrado.pdf

López-Portillo J., Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y bosques* 8(Es1), 27-51.

- López-Portillo, J., Vásquez Reyes, V.M., Gómez Aguilar, R., Lara-Domínguez, A.L. 2011a. Distribución, estructura y perspectivas de conservación de los manglares. En: Cruz A. (Ed.), *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, pp. 207-216. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- López-Portillo, J., Martínez, M.L., Hesp, P., Hernández, J.R., Méndez-Linares, A.P., Vásquez-Reyes, V., Gómez-Aguilar, L.R., et al. 2011b. *Atlas de las costas de Veracruz: manglares y dunas*, (Colección Veracruz Siglo XX; p. 249). Secretaría de Educación del Estado de Veracruz; Universidad Veracruzana, México. ISBN 978-607-520-1010.
- Lugo, A.E., Snedaker, S.C. 1974. The ecology of mangroves. *Annual review of ecology and systematics* 5(1), 39-64.
- McInnes, R.J., Simpson, M., Lopez, B., Hawkins, R., Shore, R. 2017. Wetland Ecosystem Services and the Ramsar Convention: an Assessment of Needs. *Wetlands* 37(1), 123-134. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0849-1>
- Mitchell, K. 2010. *Quantitative Analysis by the Point-Centered Quarter Method*. arXiv:1010.3303 [q-bio.QM].
- Navarro-Rodríguez, M.C., González-Guevara, L.F., Macario-López, Y., Capul-Magaña, F.G., Flores-Vargas, R. 2019. Estructura del bosque de manglar en el área natural protegida estero "El salado", Puerto Vallarta, Jalisco, México. *BIOMA* 49, Agosto 2019.
- Osland, M.J., Feher, L.C., López-Portillo, J., Day, R.H., Suman, D.O., Guzmán Menéndez, J.M., Rivera-Monroy, V.H. 2018. Mangrove forests in a rapidly changing world: Global change impacts and conservation opportunities along the Gulf of Mexico coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 214(March), 120-140. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.006>
- Paniagua-Cano, E.I., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R.L. 2018. Estructura, bienes y servicios del manglar de Mandinga, Veracruz. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 24(2), 171-181. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.034>
- Peters, R., Walther, M., Lovelock, C., Jiang, J., Berger, U. 2020. The interplay between vegetation and water in mangroves: new perspectives for mangrove stand modelling and ecological research. *Wetlands Ecology and Management* 28(4), 697-712.
- Pool, D.J., Snedaker, S.C., Lugo, A.E., 1977. Structure of mangrove forest in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica. *Biotropica* 9,195-212.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/>
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2010a. *Manejo de humedales: Marcos para manejar Humedales de Importancia Internacional y otros humedales*. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 18. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza. Disponible en: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-18sp.pdf>
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2010b. *Partnerships: Key partnerships for implementation of the Ramsar Convention*. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 4th edition, vol. 5. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Suiza. Disponible en: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-05.pdf>
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2015. *Resolución XII.2. 2015. El Plan Estratégico de Ramsar para 2016-2024*. 12ª Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). Punta del Este, Uruguay, 1 a 9 de junio de 2015. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop12_dr02_strategic_plan_s.pdf
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2016. *Manual de la Convención de Ramsar. Cooperación Internacional sobre los Humedales. Subserie I: Manual 1, 5ª Edición*. 118 p. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2018. *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland, Suiza. 88 pp. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2022a. *Resolución XIV.13. 2022. Estado de los sitios incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional*. 14ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención de Ramsar sobre los Humedales. Wuhan (China) y Ginebra (Suiza), 5 a 13 de noviembre de 2022. "Acción en favor de los humedales para las personas y la naturaleza". Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiv.13_sites_s.pdf
- Ramsar (Secretaría de la Convención sobre los Humedales) 2022b. *Resolución XIV.17. 2022. Protección, conservación, restauración, uso sostenible y gestión de los ecosistemas de humedales para hacer frente al cambio climático*. 14ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención de Ramsar sobre los Humedales. Wuhan (China) y Ginebra (Suiza), 5 a 13 de noviembre de 2022. "Acción en favor de los humedales para las personas y la naturaleza". Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiv.17_climate_change_s.pdf
- Reyes-Ortiz, J.L., González-Gándara, C., Domínguez-Barradas, C., Cruz-Morales, G.E. 2017. Estructura de la vegetación litoral del municipio de Tuxpan, Veracruz, México. *Polibotánica* 43, 103-123. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.5>
- Rodríguez Luna, E., Gómez-Pompa, A., López Acosta, J.C., Velázquez Rosas, N., Aguilar Domínguez, Y., Vázquez, M. 2011. *Atlas de los espacios naturales protegidos de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales. México. 352 p.
- Romero-Berny, E.I., Tovilla Hernández, C. 2009. Estructura del manglar en el sistema lagunar costero de Carretas-Pereyra, reserva de la biósfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Lacandonia, Revista de Ciencias de la UNICACH* 3 (1): 19-28.
- Saenger, P. 2002. *Mangrove ecology, silviculture and conservation*. Springer Science & Business Media. 101-137. ISBN 978-90-481-6050-1. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9962-7>
- Sandilyan, S., Kathiresan, K. 2012. Mangrove conservation: a global perspective. *Biodivers Conserv* 21, 3523-3542. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0388-x>
- Semeniuk, V., Cresswell, I.D. 2018. Australian mangroves: anthropogenic impacts by industry, agriculture, ports, and urbanisation. *Coastal Research Library*, 25, 173-197. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5_9
- Torres, J., Infante-Mata, D., Sánchez A., Esponza-Tenorio, A., Barba E. 2017. Atributos estructurales, productividad (hojarasca) y fenología del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Revista Biología Tropical* 65 (4): 1592-1608.
- Turner, I.M., Corlette, R. T. 1996. The conservation values of small isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 330-333.
- Twilley, R.R., Snedaker, S.C., Yáñez-Arancibia, A., Medina, E. 1996. Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Estuaries: Perspectives of Mangrove Ecosystems. En: Mooney, H.A., Cushman, J.H., Medina, E., Sala, O.E., Schulze, E.D. (Eds.) *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, pp. 327-370. SCOPE Published in 1996 by John Wiley & Sons Ltd Disponible en: <https://doi.org/10.1140/epjd/e2007-00307-2>
- Velázquez-Salazar, S., Rodríguez-Zúñiga, M.T., Alcántara-Maya, J.A., Villeda-Chávez, E., Valderrama-Landeros, L., Troche-Souza, C., Vázquez-Balderas, B., et al. 2021. *Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CDMX, Mexico. Pp. 168
- Villeda Chávez, E., Lara-Domínguez, A.L., González Zamorano, P., Rubio, E.A., Valderrama Landeros, L.H., Ramírez García, P., et al. 2018. Muestreo de variables estructurales. En: Rodríguez Zúñiga, M.T., Villeda Chávez, E., Vázquez-Lule, A.D., Bejarano, M., Cruz López, M.I., Olguín, M., Villeda Gaytán, S.A., Flores, R. (Coord.) *Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala*, Cap. 4, pp. 70-129. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. (ISBN: 978-607-8570-03-4).
- Zaldívar-Jiménez, A.M., Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Comín, F.A., Andrade, J.L., Coronado Molina, C., Pérez Ceballos, R. 2010. Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula. *Ecological Restoration* 28(3), 333-342.