



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

TEMA

**CARACTERIZACIÓN DE LOS MANGLARES EN EL PARQUE
NACIONAL “ARRECIFES DE XCALAK”, QUINTANA ROO,
MÉXICO.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN MANEJO DE ZONA COSTERA

PRESENTA:

BIÓL. CARLOS ALBERTO GÓMEZ ROJAS

DIRECTOR:

M. en C. ALEJANDRO MEDINA QUEJ

CHETUMAL, QUINTANA ROO

ENERO DE 2018



DEPENDENCIA: DIRECCIÓN
SECCIÓN: División de Estudios de Posgrado
OFICIO No. W-038/2018

Chetumal, Q. Roo, 30 de enero de 2018.

ASUNTO: Autorización de impresión.

C. CARLOS ALBERTO GÓMEZ ROJAS

De acuerdo a las Disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado de el Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el comité tutorial le hizo con respecto a su tesis titulada:

**“CARACTERIZACIÓN DE LOS MANGLARES EN EL PARQUE NACIONAL
“ARRECIFES DE XCALAK, QUINTANA ROO, MÉXICO”**

La División a mi cargo le concede la autorización para que proceda a la impresión de la misma.

(R)

ATENTAMENTE
“Cultura Ciencia y Tecnología para la superación de México”

DRA. ALICIA CARRILLO BASTOS
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

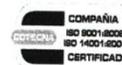


SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CHETUMAL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Departamento de Servicios Escolares.
C.c.p. Minutario.
ACB/gaby



Av. Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267, C.P.77013
Chetumal Quintana Roo México, Tel. (983) 8322330 y 8321019, Ext. 101
www.itchetumal.edu.mx



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico de Chetumal por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, así como también por facilitarme las herramientas que me permitieron culminarlos de manera satisfactoria. Quiero agradecer especialmente al cuerpo académico que compartió conmigo sus experiencias y conocimiento, gracias a todos por ayudarme a crecer un poco más.

También quiero expresar mi agradecimiento a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por haberme dado la oportunidad de desarrollar este proyecto y por apoyarme durante la realización del mismo. Quisiera agradecer a todo el personal del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”, en especial a Anahí Mafra y a Leonardo Noriel por ayudarme con el duro trabajo de campo.

Quiero agradecer a mi director de tesis el M. en C. Alejandro Medina Quej por apoyarme y confiar en mí durante la realización de este proyecto. También agradezco a mi comité sinodal conformado por la Dra. Carmen Amelia Villegas Sánchez, el M. en C. José Manuel Castro Pérez y el M. en C. Héctor Javier Ortiz León por todas las ideas, comentarios y recomendaciones que me permitieron mejorar este documento.

Agradezco especialmente a mis compañeros por todo el apoyo y compañía que me han brindado dentro y fuera de las aulas de clase. Gracias a Carlos Chablé por compartir conmigo su gran experiencia y apoyarme durante el trabajo de campo, gracias a Mauricio Espadas por ayudarme con su gran conocimiento y por inspirarme a trabajar más, y gracias a Damaris Vega por su buen sentido del humor y por recordarme que el carácter también es muy importante para la realización de un proyecto, sin ustedes no habría sido lo mismo.

Finalmente me gustaría agradecer a mi familia por todo el cariño y apoyo que siempre me han brindado, a mis padres y a mi hermano que los amo como a mi vida. También agradezco a todos esos amigos que al paso de los años se han vuelto parte de mi familia y que directa o indirectamente siempre están presentes en todo lo que hago: Lenia, Wendy, Cris, Ray, Felipe, Memo, Paco, muchas gracias.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la memoria de mi amada abuela la señora Beatriz
Castañeda González Q. E. P. D.

La extraño mucho abuelita...

También está dedicado a mi padre Octaviano Gómez, a mi madre Margarita Rojas y
a mi hermano Alejandro Gómez, aunque la distancia nos mantiene separados
siempre están conmigo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. OBJETIVOS	8
4.1 Objetivo general	8
4.2 Objetivos específicos	8
5. METODOLOGÍA	9
5.1 Área de estudio	9
5.2 Trabajo de campo	12
5.3 Trabajo de laboratorio	13
5.4 Cálculos y análisis estadísticos	14
6. RESULTADOS	16
6.1 Composición, estructura y productividad de los manglares	16
6.2 Condiciones fisicoquímicas del agua intersticial	19
6.3 Descripción del gradiente	20
7. DISCUSIÓN	24
7.1 Composición y estructura de los manglares	24
7.2 Productividad de los bosques de manglar	26
7.3 Parámetros fisicoquímicos del agua intersticial	28
7.4 Descripción del gradiente	29
8. CONCLUSIONES	30
9. REFERENCIAS	31

RESÚMEN

Para conocer mejor la estructura y funcionamiento de los manglares en Quintana Roo, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar los bosques de manglar en el Parque Nacional "Arrecifes de Xcalak" (PNAX), ubicado en el sur del estado. Se establecieron cinco puntos de muestreo a lo largo del parque, procurando abarcar un supuesto gradiente de salinidad, y en cada punto se determinó la composición florística, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles y se calculó la densidad, el área basal y la productividad de los manglares; también se obtuvieron las características fisicoquímicas del agua intersticial (salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto) presente en dichos sitios. Los resultados indicaron que los manglares del PNAX están conformados por cuatro especies: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, siendo *R. mangle* la más importante con un Índice de Valor de Importancia de 230.98. Los manglares del PNAX presentaron un DAP promedio de 10.71 cm, una altura media de 5.81 m, un área basal promedio de 2.41 m²/0.1ha y una densidad media de 226 árboles/0.1ha, por lo que son estructuralmente más pobres que otros manglares del país. La productividad calculada fue de 10.14 t ha⁻¹ año⁻¹, más elevada que la de trabajos anteriormente realizados en esta zona. La prueba de Kruskal-Wallis indicó la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el DAP, la altura y el área basal de los distintos puntos de muestreo, no obstante la productividad no mostró diferencias importantes. El análisis de correlación de Spearman indicó que los parámetros del agua intersticial están pobremente relacionados con la estructura y la productividad; por lo tanto, los cambios estructurales en los manglares del PNAX podrían estar determinados por otras variables, como el intervalo de frecuencia entre mareas, el flujo de sedimentos en el sistema o el relieve, en lugar de ser producto de las diferencias en la salinidad.

Palabras clave: estructura de manglar; *Rhizophora mangle*; agua intersticial; Parque Nacional "Arrecifes de Xcalak"; caribe mexicano.

1. INTRODUCCIÓN

Los manglares son formaciones vegetales compuestas por un grupo de plantas leñosas de origen taxonómico diverso, generalmente tienen forma de árbol o de arbusto y poseen varias adaptaciones biológicas (como raíces fúlcreas, neumatóforos o glándulas excretoras de sal) que les permiten colonizar el litoral, pues son capaces de soportar la elevada salinidad y de adaptarse a la inestabilidad del terreno (Cintrón-Molero y Schaeffer-Novelli, 1992). Los manglares crecen sobre las costas tropicales y subtropicales de todo el mundo ocupando la franja intermareal, la desembocadura de ríos y canales deltaicos y el margen de estuarios, bahías y lagunas costeras (Duke *et al.*, 1998; Agraz-Hernández *et al.*, 2006).

Los manglares son ecosistemas costeros muy importantes debido a su amplia dominancia (Kangas y Lugo, 1990), a la conectividad que establecen entre ecosistemas terrestres y marinos (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013) y a la variedad de servicios ambientales que brindan al hombre, destacando entre otros: su función como barreras naturales contra fenómenos hidrometeorológicos; su capacidad para evitar la erosión y preservar la línea de costa; su aptitud como zonas de crianza para muchas especies de importancia comercial pesquera; también son importantes sumideros de bióxido de carbono y son idóneos para el desarrollo de actividades ecoturísticas debido a su valor paisajístico y rica biodiversidad (Lacerda *et al.*, 2002).

A nivel mundial los manglares ocupan una extensión aproximada de 15 millones de hectáreas (ha) y constituyen hasta el 70% de la vegetación tropical costera (Field, 1997; Spalding *et al.*, 2010). En América, se estima que poseen una extensión de entre 4 y 6 millones de ha (Lacerda y Schaeffer-Novelli, 1999). En México, la cobertura aproximada de manglar es de 770,057 ha, lo que lo convierte en uno de los países con mayor superficie de manglar en el mundo. No obstante, México también es uno de los primeros lugares en deforestación, pues se estima que entre los años 1976 y 2000 la tasa de pérdida anual de superficie de manglar en el país fue del 2.5% (Instituto Nacional de Ecología [INE, 2005]), según esta tendencia, para el año 2025 se habrá perdido hasta el 50% de la cobertura total de manglar en México (Calderón *et al.*, 2009). Según Landgrave y Moreno-Casasola (2011), las principales

causas de la pérdida de humedales en México, durante las últimas décadas, son el incremento en el uso del agua (sobre todo para actividades agropecuarias), lo que ha originado una reducción considerable de los flujos que alimentan estos ecosistemas, y la creciente degradación por azolve, canalización y contaminación, debido al establecimiento de actividades acuícolas (principalmente granjas de camarón) en la zona costera.

Se estima que existen hasta 54 especies de mangle en todo el mundo, distribuidas dentro de 20 géneros y 16 familias (Tomlinson, 1986). Los manglares de México están conformados por solo cuatro especies dominantes: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo); además de otras dos especies poco dominantes, *Rhizophora harrisoni* y *Avicennia bicolor*. A pesar de este reducido número de especies, existe gran variabilidad en cuanto a la composición, estructura y función de los manglares. A nivel local, las características de los bosques de manglar se modifican de acuerdo al relieve, tipo de sustrato, patrones de inundación, a los gradientes ambientales, a las perturbaciones tanto naturales como antropogénicas y a la fragmentación del hábitat (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2009). Actualmente las cuatro especies principales de manglar se encuentran en categoría de “amenazadas” según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010).

La Península de Yucatán es la región del país con mayor superficie de manglar, pues posee 423,751 ha, equivalentes al 55% del total nacional (CONABIO, 2009). Los suelos calcáreos de la península y la ausencia de corrientes superficiales de agua dulce originan una estructura muy particular en los manglares, pues generalmente presentan un porte bajo, con fustes más delgados y son estructuralmente más pobres que otros bosques de manglar en México. Así mismo, la poca disponibilidad de nutrientes en la región genera la formación de amplias extensiones de manglar arbustivo o “enano” (Tovilla-Hernández *et al.*, 2009), característico de la Península de Yucatán.

El estado de Quintana Roo tiene la mayor superficie de manglar bajo algún esquema de protección especial en el país, además posee la mayor cantidad de sitios de manglar con relevancia biológica y aptitudes para la conservación (CONABIO, 2009). No obstante, se estima que la franja costera Mahahual-Xcalak, ubicada en la parte sur de Quintana Roo, sufre una tasa de deforestación anual del 0.85% (muy elevada respecto a otras regiones del país), como producto del cambio de uso de suelos, generado por la creciente expansión urbana local (Hirales-Cota *et al.*, 2010).

Para conocer mejor la estructura y funcionamiento de los manglares en esta zona, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar las comunidades de manglar en el Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak” (PNAX). Para esto se establecieron varios puntos de muestreo a lo largo del parque y se obtuvieron datos sobre la composición, estructura y productividad de los manglares; posteriormente se estimó la relación entre estas variables y las características fisicoquímicas del agua intersticial. Esto se realizó abarcando un supuesto gradiente espacial de salinidad, producido por la diferencia entre los aportes de agua dulce a lo largo del sistema.

2. ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre vegetación de manglar en México se han venido desarrollado durante los últimos 50 años, estos trabajos se han realizado en diversas localidades de la república abarcando distintos campos de estudio, por ejemplo: composición y fisionomía (Day *et al.*, 1987; López-Portillo y Ezcurra, 1989), efectos causados por impactos naturales y antropogénicos (Whigham *et al.*, 1991; Trejo *et al.*, 1993), aprovechamiento (Hernández y Espino, 1999), productividad (Barreiro-Güemes, 1999; Félix-Pico *et al.*, 2006), recopilaciones bibliográficas (López-Portillo y Ezcurra 2002), monitoreo (CONABIO, 2009), manejo y conservación (Santamaría-Gallegos *et al.*, 2011), Fenología (Agraz-Hernández *et al.*, 2015), entre otros.

Los manglares de la Península de Yucatán inicialmente fueron documentados como parte de estudios más generales sobre la vegetación, describiendo principalmente su composición y fisionomía. Algunos de estos primeros trabajos fueron realizados por Rico-Gray (1982), Olmsted *et al.* (1983), Trejo (1986) y Durán (1987). No obstante, debido a las características particulares de la península, se hizo evidente la necesidad de realizar más estudios para determinar los efectos del sistema cárstico en el desarrollo de estos ecosistemas (López-Portillo *et al.*, 1989). En los últimos años las investigaciones se han enfocado en temas más diversos, por ejemplo: caracterizaciones (Granados-Sánchez *et al.*, 1998; Agraz *et al.*, 2009), estructura y productividad (De Jesús-Navarrete y Oliva-Rivera, 2002; Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2004; Adame *et al.*, 2012), estructura y aprovechamiento (Tovilla-Hernández *et al.*, 2009), importancia ecológica y comercial (Carmona-Escalante *et al.*, 2011), cobertura y agentes de deforestación (Hirales-Cota *et al.*, 2010), entre otros.

En la parte sur del estado de Quintana Roo los trabajos sobre manglar son escasos, si bien las investigaciones locales han ido en aumento durante los últimos años, aún es necesario realizar más estudios a fin de poder establecer medidas adecuadas para el manejo y conservación de estos ecosistemas (Carmona-Escalante *et al.*, 2011). En el PNAX y su zona de influencia, uno de los primeros estudios fue realizado por Cabrera (1997), quien describió de manera general la vegetación de esta zona y realizó una descripción sobre la composición y fisionomía de los bosques

de manglar, clasificándolos como manglares de borde, manglares mixtos o monoespecíficos de cuenca, sacamanglares y marismas con manglar. Determinó que las especies más comunes de manglar en la zona eran *R. mangle*, *A. germinans* y *C. erectus*, con alturas de entre 5 y 10 metros (m).

El primer trabajo sobre estructura y productividad en el sureste de Quintana Roo fue realizado por De Jesús Navarrete y Oliva-Rivera (2002), en el canal de Bacalar Chico. En este trabajo se reportaron cuatro especies de manglar pero se determinó que la más dominante era *R. mangle*. La productividad fue de 2.61 toneladas de materia seca por hectárea por año ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$) (muy baja comparada con otras regiones del país) y las hojas en general conformaron hasta el 99.8% de la hojarasca total. Se observó que el incremento en la generación de estructuras reproductivas estuvo ligado con el aumento de la temperatura y la precipitación, alcanzando su nivel más alto entre julio y septiembre.

Tovilla-Hernández *et al.* (2009) describieron la composición, estructura, regeneración y aprovechamiento maderable de los manglares en distintos puntos del Río Hondo y la Bahía de Chetumal. Según los datos obtenidos la especie dominante fue *R. mangle* con una proporción del 71% y un índice de valor de importancia de 168. La mayoría de los manglares en esta zona presentaron un porte bajo, fustes delgados y fueron estructuralmente muy pobres. Debido a estas características y a los altos porcentajes de extracción de madera (desde 14.2% hasta 40.1%), se dedujo que su capacidad de regeneración era baja. No obstante, en todos los sitios analizados se registró regeneración por plántulas, siendo *R. mangle* la especie con mayor número de plántulas, seguida por *L. racemosa*.

Adame *et al.* (2012) relacionaron la productividad de los manglares con la frecuencia e intensidad de los huracanes, así como con la composición del agua intersticial en varios puntos de la Península de Yucatán. Determinaron que los manglares de la porción noroeste fueron más productivos (≥ 3 gramos de materia seca por metro cuadrado por día [$g\ m^2\ d^{-1}$]) que los del noreste y sureste ($\leq 2\ g\ m^2\ d^{-1}$) y que este patrón coincidía con la teoría de la perturbación intermedia. Concluyeron que ni la salinidad del agua intersticial ni la estructura del manglar podían explicar

satisfactoriamente estas diferencias, y que era la concentración de fosforo en el suelo, y no la acción de las tormentas por sí misma, la causa principal de dichas variaciones; por esto, los cambios en la disponibilidad de fosforo en el sustrato podrían modificar la producción de hojarasca de manglar a través de la Península de Yucatán.

Aunque estos estudios han proporcionado mucha información sobre la estructura y funcionamiento de los manglares en el PNAX y su zona de influencia, existe mucha información relacionada con el tema que aún no ha sido debidamente publicada, por lo que se encuentra dispersa y es más difícil de consultar. Parte de esta información puede constatarse a través de las memorias de los tres Congresos Mexicanos de Ecosistemas de Manglar, realizados hasta la fecha.

3. JUSTIFICACIÓN

Pese a los diversos beneficios generados por los bosques de manglar (Lacerda *et al.*, 2002), en México se experimenta una acelerada pérdida y degradación de estos ecosistemas (Calderón *et al.*, 2009). En los manglares de la franja costera Mahahual-Xcalak, al sur del estado de Quintana Roo, se ha estimado una tasa de deforestación anual de hasta 0.85%, entre los años 1995 y 2007 (Hirales-Cota *et al.*, 2010). Debido a la poca información que existe sobre la estructura y funcionamiento de los manglares en esta región (Carmona-Escalante *et al.*, 2011), el presente trabajo tiene la finalidad de caracterizar las comunidades de manglar en el PNAX y determinar cuáles son los factores ambientales que poseen mayor influencia sobre dichas características.

Comprender los mecanismos que determinan la estructura y el funcionamiento de las comunidades vegetales es fundamental para protegerlas y asegurar su conservación, a través de mejores planes de manejo y estrategias de aprovechamiento sustentable. Este tipo de trabajos también pueden utilizarse para evaluar el desempeño de las Áreas Naturales Protegidas como instrumentos de política ambiental, que contribuyen con la conservación, protección y aprovechamiento de los recursos naturales. Por esto, la información generada a partir de este estudio será puesta a disposición de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, para que posteriormente pueda ser utilizada de forma más práctica.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general.

Caracterizar las comunidades de manglar en el PNAX y determinar la relación entre la estructura de estos ecosistemas y las características fisicoquímicas del agua intersticial, a través de un supuesto gradiente espacial de salinidad.

4.2 Objetivos específicos.

- Describir la composición, estructura y productividad de los bosques de manglar en diversos puntos del PNAX, abarcando un supuesto gradiente espacial de salinidad.
- Describir la salinidad, la temperatura, el potencial de hidrógeno (pH) y el oxígeno disuelto del agua intersticial presente en estos mismos puntos.
- Determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las características de la vegetación de manglar y los parámetros del agua intersticial, a través de los diferentes puntos de muestreo.
- Comprobar si existe alguna correlación significativa entre las características de la vegetación y los parámetros del agua intersticial.

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio.

El PNAX se localiza en el sur de Quintana Roo, en el municipio de Othón P. Blanco. Tiene una superficie aproximada de 17,949 ha; limita al norte con el paralelo 18°30'00" N; al sur con la frontera México-Belice en el paralelo 18°11'00" N; hacia el este limita con el Mar Caribe, en la isobata de los 100 m; y al oeste con el margen de la Zona Federal Marítimo Terrestre. La parte norte tiene una porción terrestre: el sistema lagunar "Río Huach", delimitada por la carretera estatal Mahahual-Xcalak (Fig. 1).

El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual supera los 26 grados centígrados (°C) y la precipitación anual promedio varía de 1,200 a 1,500 milímetros (mm). Según las variaciones de la precipitación existen tres temporadas climáticas: secas (marzo-junio), lluvias (julio-octubre) y nortes (noviembre-febrero), esta última se caracteriza por los frentes fríos que llegan del noroeste (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 1990). Durante la temporada de lluvias (principalmente en septiembre) suelen presentarse tormentas tropicales y huracanes (Merino y Otero, 1991).

Los suelos en esta zona son de tipo calizo-cárstico con gran permeabilidad y una excesiva concentración de sodio y sales (solonchak). En el PNAX y su zona de influencia existen diversos litorales arenosos, afloramientos rocosos, zonas desérticas sin vegetación o con poca vegetación y varias zonas inundables (pantanos). También hay algunos suelos mejor consolidados (rendzinas), aunque son muy escasos y de poca profundidad (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 1984).

La hidrología superficial de la zona incluye diversos cuerpos de agua interconectados: la Bahía de Chetumal, varias lagunas costeras, el Mar Caribe y el área lagunar entre la costa y la barrera arrecifal (INEGI, 1985). Según Shaw *et al.* (1997), en esta región la mayor parte de las descargas subterráneas de agua

continental ocurren en las lagunas, pozos, marismas y sabanas de la planicie costera; otra pequeña fracción se descarga por debajo o fuera de la barrera arrecifal. Además existen zonas donde el acuífero está recubierto por una capa impermeable de “caliche” que impide los afloramientos de agua dulce.

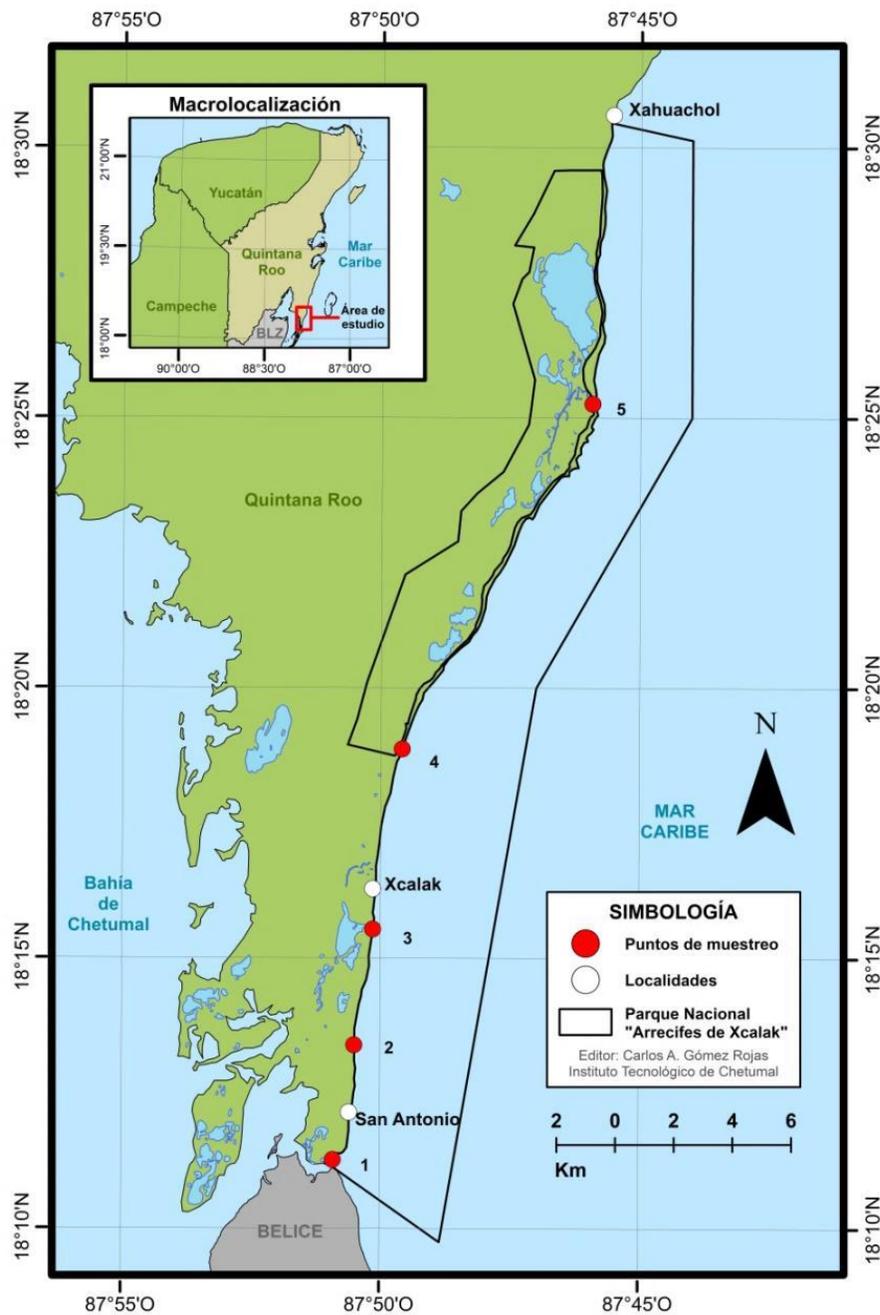


Figura 1: Localización de los puntos de muestreo dentro del polígono que corresponde al Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”, en el sureste de Quintana Roo.

Los manglares son la comunidad vegetal con mayor cobertura dentro del PNAX y su zona de influencia. Las variaciones en la precipitación y la mezcla entre agua pluvial y marina ocasionan que los manglares presenten distintos tipos de asociación, según Cabrera (1997), podemos encontrar: manglares de borde dominados por *R. mangle*; manglares de cuenca dominados ya sea por *A. germinans*, *C. erectus* ó *R. mangle*; sacamanglares compuestos por *C. erectus* y *Bucida spinosa*; y marismas, donde predomina *Salicornia perennis*, *Sporobolus virginicus* y *A. germinans*.

Para abarcar el supuesto gradiente de salinidad dentro del PNAX, se establecieron cinco puntos de muestreo a lo largo del parque (Tabla 1), la asignación de estos puntos estuvo determinada por la disposición de los cuerpos de agua en el sistema (Fig. 1). La Bahía de Chetumal, que desemboca en la parte sur, representa el mayor aporte de agua continental dentro del PNAX; debido a sus características hiposalinas (≈ 14 gramos de sal por litro de solución o partes por mil [‰]) (Gasca y Castellanos, 1993) se esperaría que el agua intersticial en esta zona fuera más salobre, lo cual generaría una estructura de manglar más desarrollada (Lugo y Snedaker, 1974). La salinidad del intersticio iría aumentando hacia la parte norte, donde a pesar de la presencia de diversas lagunas costeras, la falta de canales de comunicación y la lenta circulación del agua, producen condiciones de alta salinidad (≈ 41 ‰) (Shaw *et al.*, 1996); generando a su vez una estructura y productividad más pobres (Zaldívar *et al.*, 2004).

Tabla 1. Georreferenciación de los puntos de muestreo.

PUNTO	LATITUD	LONGITUD
1	18°11'16.3" N	87°50'54.5" O
2	18°13'23.6" N	87°50'30.1" O
3	18°15'32.1" N	87°50'08.8" O
4	18°18'52.1" N	87°49'35.3" O
5	18°25'15.5" N	87°45'55.5" O

5.2 Trabajo de campo.

En cada punto de muestreo se estableció una parcela de 0.01 ha (10 x 10 m). Dentro de cada parcela se determinó la composición florística con ayuda de la guía de campo: identificación de los manglares de México (Agráz-Hernández *et al.*, 2006), se estimó la altura aproximada de los árboles (usando una referencia de 1.80 m) y con una cinta diamétrica se midió en centímetros (cm) el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los individuos adultos a una altura de 1.30 m (en el caso de *R. mangle* la medición se realizó por encima de la intersección más alta de las raíces adventicias). Con los datos obtenidos se calculó la densidad y el área basal por cada 0.1 ha, esto debido a que es una medida estandarizada que facilita el hacer comparaciones con respecto a otros trabajos. Todas las mediciones y cálculos se realizaron siguiendo las recomendaciones de Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984).

Para calcular la productividad de los manglares, dentro de cada parcela se colocaron aleatoriamente 3 recolectores de hojarasca (canastas de 0.25 m² construidas con malla mosquitero de 1 mm de apertura de poro) a 1.50 m sobre el nivel del suelo (Fig. 2). Estos recolectores solo permanecieron en las parcelas durante los meses de enero y febrero del 2017 debido a complicaciones logísticas.



Figura 2: Trampas de hojarasca al azar dentro de las parcelas.

Para obtener la información sobre las características fisicoquímicas del agua intersticial en cada parcela se enterró en el sustrato un tubo de PVC de 2 pulgadas (in) de ancho y 1.30 m de longitud, con múltiples perforaciones en la parte inferior (esto para permitir la filtración del agua intersticial). Una vez que el agua se acumuló dentro del tubo se extrajo con ayuda de una manguera de hule y se vació en un recipiente de plástico (se realizaron varias extracciones a manera de repeticiones), después se procedió a tomar registro de la temperatura (°C), pH (concentración de iones de hidrógeno [H⁺]) y el oxígeno disuelto (miligramos de oxígeno por litro de agua [mg l⁻¹]) del agua con ayuda de un Sistema Multi-Sonda (YSI 556 M). La salinidad (‰) de la muestra fue obtenida con ayuda de un refractómetro manual de salinidad RHS-10 ATC.

5.3 Trabajo de laboratorio.

Las muestras de hojarasca fueron separadas tanto por especie como por sus componentes principales (hojas, flores, frutos y los pedazos de ramas y corteza), después fueron secadas en un horno a 75 °C durante 72 horas (h), hasta que alcanzaron un peso constante, finalmente se colocaron en una tara y se pesaron con ayuda de una balanza analítica modelo ADAM PW254 (0.0001 gramos de precisión) (Fig. 3). La producción de hojarasca fue expresada como g m² día⁻¹ (Brown, 1984).



Figura 3: proceso de separación, secado y pesado de algunas muestras de hojarasca.

5.4 Cálculos y análisis estadísticos.

Una vez organizada la información se procedió con la estimación del área basal a partir del DAP, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Área Basal (m}^2\text{)} = 0.00007854 * \text{DAP}^2$$

Posteriormente se determinó la densidad y el área basal por cada 0.1 ha, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad (árboles/0.1ha)} = \text{número de árboles (10)}$$

$$\text{Área Basal (m}^2\text{/0.1ha)} = \sum \text{Área Basal (m}^2\text{)} (10)$$

Después se calculó el índice de Valor de Importancia (IVI), el cual determina la contribución estructural de cada especie dentro de un ecosistema determinado (Cottam y Curtis, 1956). El IVI se obtuvo mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad relativa y la dominancia relativa, estimadas a través de las siguientes fórmulas:

$$\text{Frecuencia relativa} = (\text{Frecuencia de la especie} / \text{Frecuencia de todas las especies}) \times 100$$

$$\text{Densidad relativa} = (\text{Núm. de individuos de la especie} / \text{Núm. total de individuos}) \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = (\text{Dominancia de la especie} / \text{Dominancia de todas las especies}) \times 100$$

Para comparar la información obtenida en los distintos puntos de muestreo se decidió utilizar estadística no paramétrica, debido a que los datos no cumplían con los supuestos requeridos para la aplicación de análisis paramétricos. Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para identificar diferencias estadísticamente significativas en la estructura y productividad de los manglares, a través de los distintos puntos de muestreo. Para establecer la relación entre las características de la vegetación y los parámetros ambientales se realizó un análisis de correlación de Spearman. Todos los cálculos se efectuaron con el paquete estadístico StathGraphics ver. 5.1.

6. RESULTADOS

6.1 Composición, estructura y productividad de los manglares.

Punto 1: el manglar es de tipo borde compuesto totalmente (100 %) por *R. mangle*, el ancho de la franja de manglar varía de 10 a 15 m. La densidad registrada fue de 270 árboles/0.1ha⁻¹; los árboles presentaron una altura promedio de 6.81 m, la altura máxima fue de 9.0 m; el DAP promedio fue 14.87 cm; el área basal calculada fue 4.92 m²/0.1ha⁻¹ (Tabla 2). La productividad del manglar en este punto fue de 4.013 g m² día⁻¹; las hojas fueron el componente más abundante de la hojarasca con un 75.33%, seguido por las flores con 16.92%, las ramas y pedazos de corteza con 6.55% y los frutos, con 1.20% (Tabla 3). En el sitio se observó gran abundancia de residuos sólidos (principalmente bolsas de plástico y botellas de PET) supuestamente arrastrados hasta aquí por las corrientes del Mar Caribe.

Punto 2: el manglar es de tipo borde mixto compuesto por *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*, el ancho de la franja de manglar es de hasta 10 m. La densidad fue de 260 árboles/0.1ha⁻¹, la proporción de *R. mangle* fue de 96.15% y la de *A. germinans* 3.85% (ningún árbol de *L. racemosa* se registró en la parcela); la altura promedio de los árboles fue de 6.56 m, *A. germinans* obtuvo la altura máxima que fue de 9.0 m; el DAP promedio fue 10.33 cm; el área basal calculada fue 2.31 m²/0.1ha⁻¹ (Tabla 2). La productividad del manglar fue de 3.326 g m² día⁻¹, toda la hojarasca colectada fue de *R. mangle*; las hojas fueron el componente más abundante con un 73.12%, seguido por las flores con 24.56% y las ramas y pedazos de corteza con un 2.32%; en este sitio no se registraron frutos (0%) (Tabla 3). En el lugar también se observó la presencia de residuos sólidos, aunque en menor cantidad que en el primer punto.

Punto 3: el manglar es de tipo borde compuesto totalmente por *R. mangle*, el ancho de la franja de manglar es de hasta 10 m. La densidad fue de 180 árboles/0.1ha⁻¹; la altura promedio de los árboles fue de 5.56 m, con una altura máxima de 7.0 m; el DAP promedio fue 10.08 cm; el área basal calculada fue 1.48 m²/0.1ha⁻¹ (Tabla 2). La productividad del manglar fue de 2.387 g m² día⁻¹; las hojas fueron el componente

más abundante de la hojarasca con un 68.20%, seguido por las flores con 27.40% y las ramas y pedazos de corteza con un 4.40%; no se registraron frutos (Tabla 3). En este punto también se observó gran cantidad de residuos sólidos, además de una gran mortandad de árboles de *R. mangle* que supuestamente abrían sido arrasados por el paso del huracán Dean en 2007.

Punto 4: el manglar es de tipo borde mixto compuesto por *R. mangle*, *A. germinans* y *C. erectus*, la franja de manglar tiene hasta 10 m de ancho. La densidad fue de 230 árboles/0.1ha⁻¹, la proporción de *R. mangle* fue 82.61%, la de *C. erectus* 13.04% y la de *A. germinans* 4.35%; la altura promedio de los árboles fue de 5.67 m, *A. germinans* obtuvo la altura máxima que fue de 9.5 m; el DAP promedio fue 11.88 cm; el área basal calculada fue 2.72 m²/0.1ha⁻¹ (Tabla 2). La productividad fue de 1.843 g m² día⁻¹, la proporción de hojarasca de *R. mangle* fue de 88.88%, la de *A. germinans* 8.30% y la de *C. erectus* 2.82%; la hojas fueron el componente principal con un 68.26%, seguido por las flores con 15.89%, las ramas y pedazos de corteza con 14.49% y los frutos, con solo 1.36% (Tabla 3). En este punto también se pudo observar la presencia de residuos sólidos.

Punto 5: el manglar es de tipo borde mixto conformado por *R. mangle*, *C. erectus* y *L. racemosa*, la franja de manglar no supera los 10 m de ancho por lo que se establecieron dos parcelas: una de 8 x 8 m y otra de 6 x 6 m. La densidad fue de 190 árboles/0.1ha⁻¹, con una proporción de 68.42% para *R. mangle*, 26.32% para *C. erectus* y 5.26% para *L. racemosa*; la altura promedio fue de 4.47 m, *R. mangle* y *C. erectus* obtuvieron la altura máxima con individuos de 5.0 m; el DAP promedio fue 6.40 cm; el área basal calculada fue 0.64 m²/0.1ha⁻¹ (Tabla 2). La productividad fue de 2.321 g m² día⁻¹, la proporción de hojarasca de *R. mangle* fue de 67.90% y la de *L. racemosa* 32.10% (no se registró hojarasca de *C. erectus*); la hojas fueron el componente principal con 88.88%, seguido por las flores con 8.27% y las ramas y pedazos de corteza con 2.85%; no se registraron frutos (Tabla 3). En este punto también se observaron residuos sólidos los cuales parecen ser depositados en mayor parte por las personas que transitan en este lugar.

Tabla 2. Características estructurales del manglar y características fisicoquímicas del agua intersticial en cinco puntos del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak” (marzo del 2017).

VARIABLE	PUNTO DE MUESTREO				
	1	2	3	4	5
Estructura del manglar					
DAP medio (cm)	14.87 ±3.37	10.33 ±2.61	10.08 ±1.89	11.88 ±3.18	6.40 ±1.38
Altura media (m)	6.81 ±0.93	6.56 ±1.09	5.56 ±0.97	5.67 ±1.23	4.47 ±0.79
Densidad (árboles/0.1ha ⁻¹)	270	260	180	230	190
Área basal (m ² /0.1ha ⁻¹)	4.92	2.31	1.48	2.72	0.64
Núm. Especies	1	2	1	3	3
Agua intersticial					
Temperatura (°C)	27.5 ±0.1	28.0 ±0.1	27.8 ±0.2	29.7 ±0.3	27.7 ±0.4
Salinidad (‰)	47	39	50	39	38
Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹)	7.65 ±0.10	6.86 ±0.02	2.23 ±0.42	8.16 ±0.02	7.50 ±0.05
pH (H ⁺)	6.5 ±0.1	7.8 ±0.1	6.9 ±0.0	7.2 ±0.1	7.1 ±0.0

Tabla 3. Producción de hojarasca de manglar (g m² día⁻¹) según sus componentes principales en cinco puntos del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak” (enero-febrero 2017).

PUNTO	Especies	Hojas	Flores	Ramas*	Frutos	TOTAL
1	<i>R. mangle</i>	3.023	0.679	0.263	0.048	4.013
2	<i>R. mangle</i>	2.432	0.817	0.077	0.000	3.326
3	<i>R. mangle</i>	1.628	0.654	0.105	0.000	2.387
4	<i>R. mangle</i>	1.055	0.291	0.267	0.025	1.843
	<i>A. germinans</i>	0.152	0.000	0.000	0.000	
	<i>C. erectus</i>	0.051	0.001	0.000	0.000	
5	<i>R. mangle</i>	1.318	0.192	0.066	0.000	2.321
	<i>L. racemosa</i>	0.745	0.000	0.000	0.000	

*Incluyendo también fragmentos de corteza y estructuras sin identificar.

El cálculo del IVI indica que la especie más relevante para la estructura de los bosques de manglar en esta zona es *R. mangle* con un valor de 230.98 (76.99%), seguida por *C. erectus* con 31.31 (10.44%), *A. germinans* con 26.58 (8.86%) y finalmente *L. racemosa*, con un valor de solo 11.13 (3.71%) (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de Valor de Importancia de las especies de manglar en cinco puntos del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”.

Especie	PUNTO DE MUESTREO					TOTAL
	1	2	3	4	5	
<i>R. mangle</i>	74.69	49.62	38.20	43.15	25.32	230.98
<i>A. germinans</i>	0.00	12.54	0.00	14.04	0.00	26.58
<i>L. racemosa</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	11.13	11.13
<i>C. erectus</i>	0.00	0.00	0.00	15.72	15.59	31.31

6.2 Condiciones fisicoquímicas del agua intersticial.

Punto 1: la parcela se encuentra permanentemente inundada por lo que el agua intersticial se obtuvo cerca del límite con el manglar de cuenca. El color y textura del suelo denotan gran contenido de materia orgánica; la salinidad fue muy elevada (47 ‰), pese a que en este sitio se esperaban condiciones más salobres. La temperatura (27.5 °C) y el oxígeno disuelto (7.65 mg l⁻¹) obtuvieron valores normales; el pH (6.5) fue un poco más ácido de lo esperado (Tabla 2).

Punto 2: el suelo es arenoso, arcilloso y compactado, el agua intersticial aflora cerca de la superficie. La salinidad (39 ‰), temperatura (28.0 °C), oxígeno disuelto (6.86 mg l⁻¹) y pH (7.8) obtuvieron valores normales para una muestra de agua de mar (Tabla 2).

Punto 3: el suelo es arenoso, arcilloso y compactado, el agua intersticial se encontró a casi un metro de profundidad. La salinidad obtuvo el valor más elevado para este estudio (50 ‰), en contraste, el oxígeno disuelto fue el más bajo que se registró

(2.23 mg l⁻¹); la temperatura obtuvo un valor normal (27.8 °C) y el pH (6.9) fue un poco más ácido de lo esperado (Tabla 2).

Punto 4: el suelo es arenoso, arcilloso y compactado, el agua intersticial se encontró a más de un metro de profundidad. La salinidad (39 ‰), temperatura (29.7 °C), oxígeno disuelto (8.16 mg l⁻¹) y pH (7.2) estuvieron dentro de los rangos esperados (Tabla 2).

Punto 5: el suelo es arenoso y rico en materia orgánica, el agua intersticial aflora cerca de la superficie. La salinidad (38 ‰), temperatura (27.7 °C), oxígeno disuelto (7.50 mg l⁻¹) y pH (7.1) estuvieron dentro de los rangos esperados (Tabla 2). Cabe mencionar que en este sitio hay una pronunciada loma paralela a la línea de costa, sobre la cual estaba cimentado un puente. Esta elevación limita abruptamente el flujo superficial de la marea.

6.3 Descripción del gradiente.

La prueba de Kruskal-Wallis indicó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre el DAP, la altura y el área basal de la vegetación de manglar ($p < 0.05$) de los distintos puntos de muestreo. El DAP indica que existen diferencias entre los puntos 1, 4 y 5, siendo los puntos 2 y 3 significativamente distintos de estos pero no entre sí ($p = 0.00$) (Fig. 4). El área basal indica que existen diferencias entre los puntos 1 y 5, siendo los puntos 2, 3 y 4 distintos de estos pero no entre sí ($p = 0.00$) (Fig. 5). La altura indica similitudes entre los puntos 1 y 2; así como también entre los puntos 3 y 4, habiendo diferencias entre estos dos grupos y el punto 5 ($p = 1.12 \times 10^{-9}$) (Fig. 6). Por su parte, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de la producción de hojarasca ($p = 0.46$), en los distintos puntos de muestreo (Fig. 7).

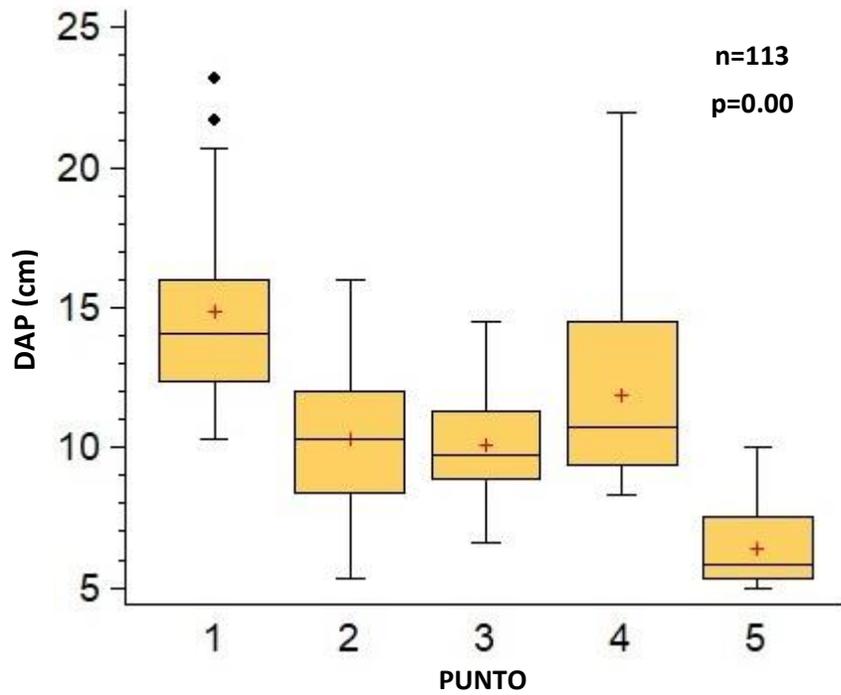


Figura 4: comparación del diámetro a la altura del pecho de los árboles de manglar en cinco puntos a lo largo del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”.

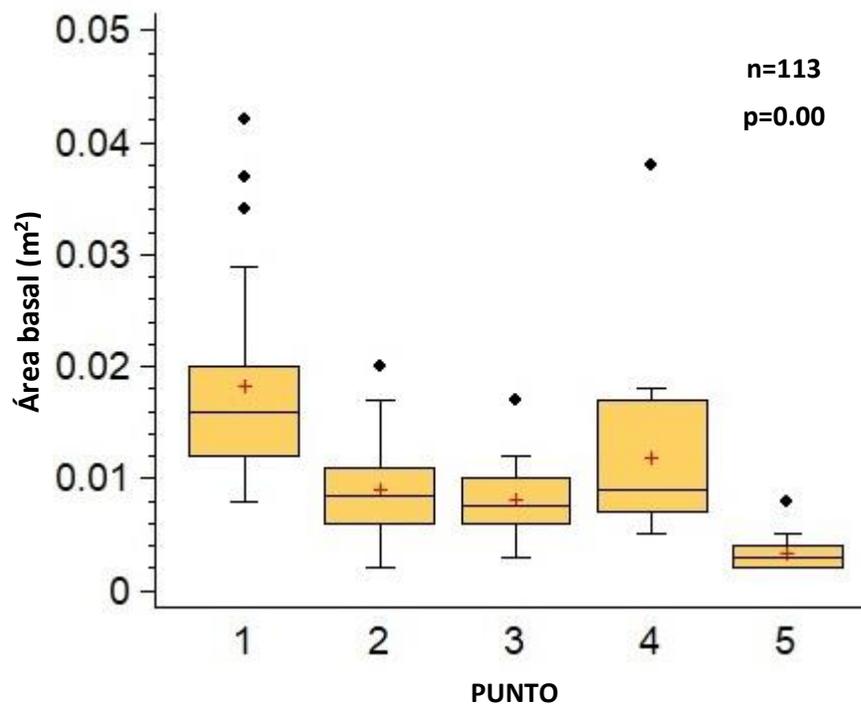


Figura 5: comparación del área basal de los árboles de manglar en cinco puntos a lo largo del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”.

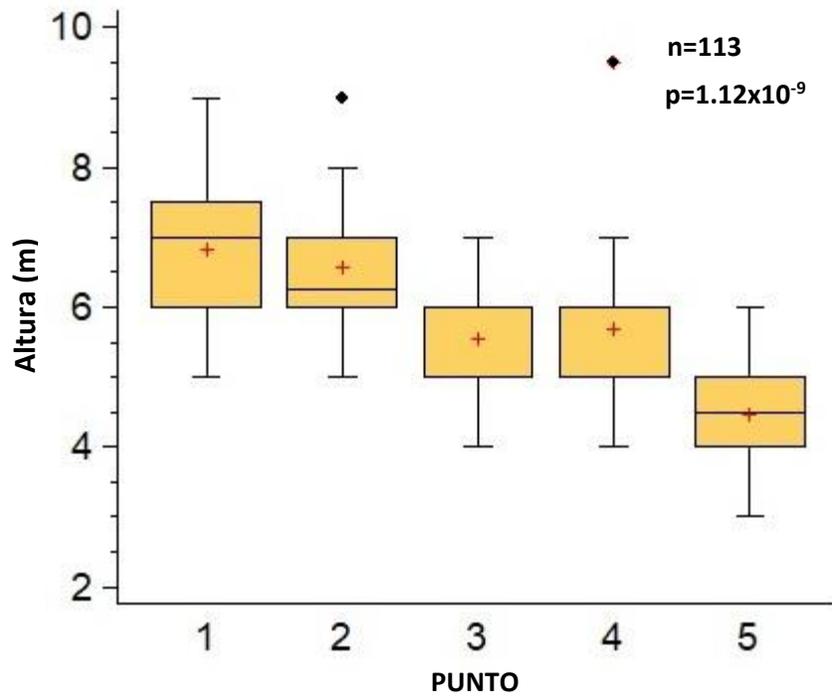


Figura 6: comparación de la altura de los árboles de manglar en cinco puntos a lo largo del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”.

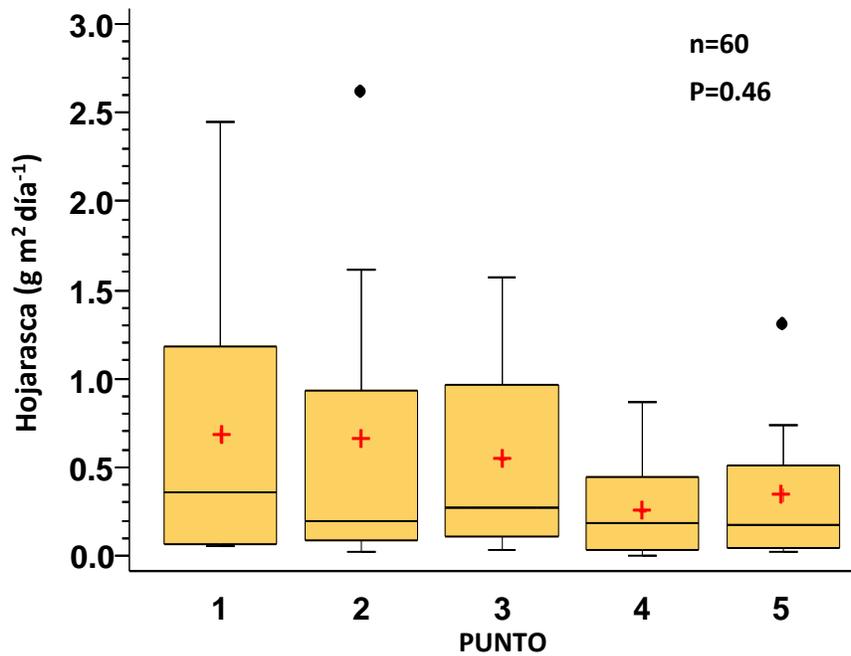


Figura 7: comparación de la producción de hojarasca de manglar en cinco puntos a lo largo del Parque Nacional “Arrecifes de Xcalak”.

De manera general, el DAP, la altura, el área basal, la densidad y la productividad de los manglares, obtuvieron los valores más altos de este estudio en el punto 1 y fueron disminuyendo paulatinamente hasta el punto 5. No obstante, los parámetros del agua intersticial no presentaron ninguna tendencia clara (Tabla 2). Los valores obtenidos fueron muy uniformes con excepción de la salinidad en los puntos 1 y 3, que fue particularmente elevada (47 ‰ y 50 ‰ respectivamente); y la concentración de oxígeno disuelto en el punto 3, que fue demasiado baja ($2.23 \pm 0.42 \text{ mg l}^{-1}$).

El análisis de correlación de Spearman indica que los parámetros del agua intersticial están pobremente relacionados con la estructura y la productividad de los manglares en esta zona. La productividad presentó una mejor correlación con respecto a la estructura pues obtuvo un valor de 0.90 con relación a la densidad de las parcelas, 0.40 con relación al área basal y 0.52 con relación a la altura; esto significa que la productividad aumenta en las parcelas con mayor número de individuos, donde los árboles son más altos y presentan una mejor área basal.

Debido a que los parámetros del agua intersticial presentan muy poca variación a lo largo del sistema y a que no presentan una fuerte correlación con respecto a la productividad y estructura del manglar, se puede concluir que estos parámetros no bastan para explicar las variaciones en la composición, estructura y productividad de la vegetación analizada.

7. DISCUSIÓN

7.1 Composición y estructura de los manglares.

La composición de los manglares en el PNAX es similar a la de otros bosques de manglar en el Caribe, pues están conformados por una combinación de pocas especies: *R. mangle*, *L. racemosa*, *A. germinans* y *C. erectus*, siendo *R. mangle* la más dominante (IVI=230.98) (Cintrón-Molero y Schaeffer-Novelli, 1992). Todos los manglares analizados corresponden con el tipo fisionómico de “manglar de borde” y debido a su porte bajo (5.93 ± 1.30 m) y fustes delgados (10.03 ± 3.82 cm), tienden a ser estructuralmente más pobres comparados con otros manglares de esta categoría en el país (Agraz-Hernández *et al.*, 2006) (Tabla 5). Esta estructura comunitaria probablemente es resultado del suelo cárstico característico de la Península de Yucatán, aunado al carácter oligotrófico de las aguas del Caribe y a la frecuencia de tormentas tropicales y huracanes en la región (Agraz-Hernández *et al.*, 2009).

Tabla 5: características estructurales de diversos bosques de manglar en México.

Sitio	Fisionomía dominante	DAP (cm)	Área basal (m ² /0.1ha ⁻¹)	Densidad (árbol/0.1ha ⁻¹)	Altura (m)	Fuente
Términos Campeche	Borde	10.90	3.22	310	7.40	Barreiro-Güemes (1999)
Costas de Chiapas	Ribereño	19.20	4.52	291	21.40	Tovilla-Hernández y Romero-Berny (2012)
Costas de Oaxaca	Borde	13.80	4.92	455	17.30	Tovilla-Hernández y Romero-Berny (2012)
Costas de Tabasco	Cuenca	-	1.09	35	13.20	Domínguez-Domínguez Et al. (2011)
Celestún Yucatán	Borde y cuenca	12.73	3.04	190	8.40	Zaldivar <i>et al.</i> (2004)
Península de Yucatán	Borde	-	1.66	366	4.20	Adame <i>et al.</i> (2012)

Chetumal Q. Roo.	Ribereño	7.94	7.30	188	8.30	Tovilla-Hernández <i>et al.</i> (2009)
Xcalak Q. Roo.	Borde	10.71	2.41	226	5.81	Este estudio

Pese a la dominancia de *R. mangle* en el PNAX es evidente que existe un cambio en la composición de especies desde el punto 1 (bosque monoespecífico de *R. mangle*) hasta el punto 5 (bosque mixto conformado por tres especies de manglar). Los parámetros estructurales siguieron una tendencia similar pues en el punto 1 se obtuvieron los valores más altos de densidad, altura media, DAP y área basal, mientras que en el punto 5 se obtuvieron los más valores bajos de altura media y DAP. Estas diferencias en la estructura y composición del manglar pueden estar ligadas a los gradientes de salinidad del agua intersticial (Zaldívar *et al.*, 2004), sin embargo, ya que ninguno de los parámetros intersticiales se correlacionó de manera importante con la estructura del manglar, y debido a que no presentaron una tendencia clara a través del sistema, es más probable que dichas diferencias estén determinadas por otros factores. Se ha reportado que la composición y estructura de los manglares en la Península de Yucatán están fuertemente determinadas por la influencia de las mareas (Agraz-Hernández *et al.*, 2009), por el relieve (López-Portillo *et al.*, 1989) y por la disponibilidad de fósforo en el sustrato (Álvarez-Legorreta, 2000).

De acuerdo con las observaciones realizadas en campo, la parcela del punto 1 permanece inundada en todo momento, además el color y textura del suelo sugieren gran contenido de materia orgánica disponible. Esto ayudaría a explicar mejor la dominancia de *R. mangle*, pues es una especie que persiste en sitios con inundación permanente y donde los fondos someros y sedimentarios permiten el anclaje de los propágulos (Cintrón-Molero y Schaeffer-Novelli, 1992); por su parte la disponibilidad de nutrientes inmersos en la columna de agua podrían estar contribuyendo con un mejor desarrollo de la estructura (Lugo y Snedaker 1974). Los puntos 2, 3 y 4 están ubicados sobre la costa del Mar Caribe, en estos sitios se observó un sustrato

arenoso-arcilloso donde al parecer las mareas lavan los sedimentos, limitando el reciclaje de los nutrientes y con ello el desarrollo de la vegetación; al mismo tiempo, la diferencia en la amplitud de las mareas a lo largo del PNAX contribuiría con la presencia de diversas especies de manglar y con los cambios en su abundancia (Duke *et al.*, 1998). El punto 5 tiene una marcada pendiente paralela a la línea de costa que limita tajantemente la influencia de las mareas, por lo cual la franja de manglar de borde es muy angosta y a los pocos metros la vegetación presenta el aspecto de un manglar de cuenca, con abundancia de *C. erectus* (CONABIO, 2009). Por su parte, la acción tan limitada de las mareas en este lugar podría estar dificultando el transporte de sedimentos orgánicos acumulados bajo la pendiente (Lugo y Snedaker 1974).

7.2 Productividad de los bosques de manglar.

La productividad de los manglares en el PNAX es más baja que la de otras localidades del país (Flores-Verdugo *et al.*, 1987; Day *et al.*, 1987; Zaldívar *et al.*, 2004), no obstante el promedio de los valores obtenidos en este estudio ($10.14 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) está muy por encima de los obtenidos en trabajos anteriormente realizados en esta zona, por Adame *et al.* (2012) ($7.23 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y De Jesús-Navarrete y Oliva-Rivera (2002) ($2.61 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Tabla 6). Es importante considerar que la hojarasca de este trabajo solo representa la temporada de nortes 2016-2017, y que en el Caribe la menor cantidad de hojarasca se produce durante la temporada de invierno (De Jesús-Navarrete y Oliva-Rivera, 2002), por lo cual estos valores podrían incrementar con el ciclo anual completo. Este aumento en la productividad pudiera haber sido causado por la baja precipitación registrada durante la época de recolecta (hasta 65% por debajo de la media según las predicciones), pero debido a que solo se tiene información de esta temporada hay que tener precaución al realizar cualquier estimación.

Tabla 6: producción anual de hojarasca en diversos manglares de México.

Localidad	Especie dominante	Hojarasca (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Hojas (%)	Reproductivas (%)	Otros (%)	Fuente
Términos Campeche	<i>R. mangle</i>	12.52	70.28	-	-	Day <i>et al.</i> (1987)
Términos Campeche	<i>R. mangle</i>	16.53	≈70.10	≈29.90	-	Barreiro-Güemes (1999)
Cihuatlán Jalisco	<i>A. germinans</i> <i>L. racemosa</i>	2.29	77.73	14.55	11.72	Mendoza-Morales <i>et al.</i> (2016)
El Verde Sinaloa	<i>L. racemosa</i>	11.00	89.09	-	-	Flores-Verdugo <i>et al.</i> (1987)
Tecoanapa Guerrero	<i>C. erectus</i>	9.49	71.10	16.63	-	Hernández y Espino (1999)
Celestún Yucatán	<i>R. mangle</i>	14.22	77-84	-	-	Zaldivar <i>et al.</i> (2004)
Celestún Yucatán	<i>A. germinans</i>	10.59	≈65.95	≈16.42	≈17.63	Adame <i>et al.</i> (2012)
Chetumal Q. Roo.	<i>R. mangle</i>	7.15	≈56.79	≈14.93	≈28.28	Adame <i>et al.</i> (2012)
Xcalak Q. Roo.	<i>R. mangle</i>	2.61	99.83	0.15	0.01	De Jesús-Navarrete y Oliva-Rivera (2002)
Xcalak Q. Roo.	<i>R. mangle</i>	7.23	≈64.47	≈25.12	≈10.41	Adame <i>et al.</i> (2012)
Xcalak Q. Roo.	<i>R. mangle</i>	10.14	74.90	19.50	5.60	Este estudio

Del mismo modo que la estructura y composición, la productividad mostró una tendencia hacia la disminución desde el punto 1 hasta el punto 5. La productividad tampoco mostró alguna correlación importante entorno a los parámetros del intersticio, no obstante obtuvo valores de correlación de 0.90, 0.40 y 0.52 con respecto a la densidad, área basal y altura media del manglar, respectivamente. Esto es contrario a los resultados de Adame *et al.* (2012) que no observaron ninguna relación entre la productividad y los mismos parámetros estructurales en diversos puntos de la Península de Yucatán; señalando que el principal factor capaz de limitar la producción de hojarasca en estos bosques es la disponibilidad de fósforo en el

sustrato. Por el otra parte Saenger y Snedaker (1993) si establecieron diversas relaciones entre la latitud, producción de hojarasca, biomasa y altura media de los bosques de manglar, en diversas regiones tropicales del mundo. Sin embargo, se debe señalar que estas correlaciones no indican una causalidad directa, y que la relación entre hojarasca y estructura del manglar simplemente sirve como indicador de una buena adaptación y desarrollo estructural, que podría ser resultado de la interacción de otras variables menos evidentes.

7.3 Parámetros fisicoquímicos del agua intersticial.

Los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial estuvieron mayoritariamente dentro de los rangos normales para las muestras de agua de mar (Nybakken, 2001), con excepción de la salinidad dentro de las parcelas 1 y 3, cuyos valores fueron demasiado elevados (47 ‰ y 50 ‰ respectivamente), y el oxígeno disuelto de la parcela 3, que fue demasiado bajo ($2.23 \pm 0.42 \text{ mg l}^{-1}$). Según Shaw *et al.* (1997), la salinidad inusualmente alta en la laguna arrecifal frente al poblado de Xcalak (punto 3), se debe a que el acuífero en esta zona descarga sus aguas por fuera de la barrera arrecifal, aunado a la lenta circulación de las corrientes, esto produce una fuerte acumulación de sales conforme se evapora el agua a nivel de la superficie. Por su parte, las concentraciones de oxígeno por debajo del nivel de saturación normal pueden indicar contaminación por materia orgánica, lo que deriva en el incremento de la actividad bacteriana (Fuentes y Massol-Deyá, 2002). La posible saturación de contaminantes orgánicos en este sitio podría deberse a la influencia del poblado de Xcalak, otra posibilidad radica en que sea producida por la acumulación de residuos sólidos, abundantes en el sistema; o bien, una combinación de ambas situaciones. Al igual que con la productividad, se debe tener precaución al tratar de hacer estimaciones con estos datos, pues debido a que no fue posible realizar más colectas, los valores del agua intersticial solo fueron tomados de forma puntual en marzo del 2017.

7.4 Descripción del gradiente.

La vegetación de manglar en el PNAX presenta un gradiente estructural de sur a norte, que aparentemente corresponde con el volumen de los aportes de agua dulce en el sistema: el mayor desarrollo estructural de la vegetación se registró en la parte sur, en los puntos ubicados cerca de los canales de Bacalar Chico y de Zaragoza, donde el aporte de agua dulce debería ser mayor; mientras que hacia el norte las características estructurales de la vegetación presentaron valores más bajos, a pesar de contar con la influencia de diversas lagunas costeras, incluido el sistema lagunar "Río Guach". El desarrollo de la estructura, principalmente la densidad de la vegetación, está relacionado con la producción de hojarasca de manglar, la cual también parece disminuir paulatinamente de sur a norte, aunque estas diferencias no son estadísticamente significativas. Pese a todo esto, no solo la salinidad, si no que ninguno de los parámetros del agua intersticial analizados, muestra evidencias de que exista dicha tendencia a través del sistema. Debido a esto es imposible establecer correlaciones entre las características físico-química del agua y la estructura de la vegetación, por lo que las variaciones de dicha estructura deben estar determinadas por otros factores como la influencia de las mareas, el flujo de sedimentos, las características del relieve o las actividades humanas.

8. CONCLUSIONES

Los bosques de manglar en el PNAX están conformados por las cuatro especies de mangle más comunes de México es decir: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, siendo *R. mangle* la más importante para la estructura de estas comunidades vegetales.

Debido al sistema cárstico de la región, al carácter oligotrófico de las aguas del Caribe y a la incidencia de huracanes; los manglares de Quintana Roo tienden a ser estructuralmente más pobres que otros bosques de manglar en el país.

Los manglares en el PNAX presentan un gradiente en composición y estructura que va de sur a norte: en la parte sur cerca de los canales de Bacalar Chico y de Zaragoza se presenta una amplia dominancia de *R. mangle*, con árboles de mayor altura y fustes más anchos; conforme se avanza hacia el norte, los parámetros estructurales de la vegetación disminuyen y las demás especies de manglar comienzan a volverse más dominantes, hasta llegar a la desembocadura del sistema lagunar “Río Huach”, donde se presentan todas las especies y donde la estructura alcanza su nivel más bajo.

La producción de hojarasca también disminuye de sur a norte a lo largo PNAX, sin embargo, debido a que solo se pudo coleccionar hojarasca durante la temporada de nortes 2016-2017 y a que se determinó que estas diferencias no son estadísticamente significativas no es posible establecer las causas de esta variación.

Los parámetros del agua intersticial en el PNAX no varían demasiado de un punto a otro y las diferencias que presentan podrían ser resultado de la geología local o de influencias antropogénicas. Con la información obtenida no se pudieron establecer correlaciones entre el agua intersticial y la estructura de la vegetación de manglar.

Es posible que los cambios estructurales en los bosques de manglar a través del PNAX estén determinados en mayor medida por variables como el intervalo de las mareas, el flujo de sedimentos y el relieve, y no por las diferencias de salinidad.

9. REFERENCIAS.

Adame, M. F., A. Zaldívar-Jiménez, C. Teutli, J. P. Caamal, M. T. Andueza, H. López-Adame, R. Cano, H. A. Hernández-Arana, R. Torres-Lara y J. A. Herrera-Silveira (2012). Drivers of Mangrove Litterfall within a Karstic Region Affected by Frequent Hurricanes. *Biotropica* 45 (2): 147-154.

Agraz-Hernández, C. M., C. Chan-Keb, S. Iriarte-Vivar, G. Posada-Venegas, B. Vega-Serratos y J. Osti-Sáenz (2015). Phenological variation of *Rhizophora* mangle and ground water chemistry associated to changes of the precipitation. *Hidrobiológica* 25 (1): 49-61.

Agraz-Hernández, C. M., C. García-Zaragoza, J. Osti-Sáenz, y C. Chan-Keb (2009). Caracterización de los manglares en los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *JAINA Boletín Informativo* 20 (2): 5-14.

Agraz-Hernández, C. M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F. J. Flores-Verdugo y J. J. Jiménez-Zacarias (2006). Guía de Campo: Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. México. 45 p.

Álvarez-Legorreta, T. (2002). Bahía de Chetumal, Quintana Roo. En: S. V. Smith, J. Crossland y C. J. Crossland (eds). Budgets for Yucatán Estuarine Systems. Mexican and Central America Coastal Lagoon Systems: Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes. *Regional Workshop. Texel: LOICZ Reports & Studies* 13: 14-16.

Barreiro-Güemes, M. T. (1999). Mangrove leaf litter input and foliage renovation of an estuarine system in southeast Mexico. *Revista de Biología Tropical* 47 (4): 729-737.

Brown, M. (1984). Mangrove litter production and dynamics. En: S. C. Snedaker y J. G. Snedaker (eds). The mangrove ecosystem: Research methods. Monographs on Oceanographic Methodology 8. UNESCO/SCOR. Reino Unido. p: 231-237.

Cabrera, E. (1997). La vegetación en la zona de Xcalak. *Amigos de Sian Ka'an, Boletín 17*: 3-47.

Calderón, C., O. Aburto y E. Ezcurra (2009). El valor de los manglares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Biodiversitas 82*: 1-6.

Carmona-Escalante, A., S. Castillo-Domínguez y V. I. Escamilla-Rivera (2011). Estructura e importancia de los manglares en la Península de Yucatán (Campeche, Yucatán, Quintana Roo). *JAINA Boletín Informativo 22 (1)*: 55-62.

Cintrón-Molero, G. y Y. Schaeffer-Novelli (1984). Methods for studying mangrove structure. En: S. C. Snedaker y J. G. Snedaker (eds). *The mangrove ecosystem: Research methods. Monographs on Oceanographic Methodology 8*. UNESCO/ SCOR. Reino Unido. p: 91-113.

Cintrón-Molero, G. y Y. Schaeffer-Novelli (1992). Ecology and management of New World mangroves. En: U. Seeliger (ed). *Coastal plant communities of Latin America*. Academic Press. EUA. p: 233-258.

CONABIO (2009). Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 100 p.

Cottam, G. y J. T. Curtis (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology 37*: 451- 460.

Day, J. W., W. H. Conner, F. Ley-Lou, R. H. Day y A. M. Navarro (1987). The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Términos, México. *Aquatic Botany 27*: 267-284.

De Jesús-Navarrete, A. y J. J. Oliva-Rivera (2002). Litter production of *Rhizophora* mangle at Bacalar Chico, Southern Quintana Roo, Mexico. *Universidad y Ciencia 18 (36)*: 79–86.

Domínguez-Domínguez, M., J. Zavala-Cruz y P. Martínez-Zurimendi (2011). Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos

Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137p.

Duke, N. C., M. C. Ball y J. C. Ellison (1998). Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology & Biogeography Letters* 7: 27-48.

Durán, R. (1987). Descripción y análisis de la estructura y composición de la vegetación de los petenes del noroeste de Campeche, México. *Biótica* 12 (3): 181-198.

Félix-Pico, E. F., O. E. Holguin-Quiñones, A. Hernández-Herrera y F. Flores-Verdugo. (2006). Producción primaria de los mangles del Estero El Conchalito en Bahía de La Paz (Baja California Sur, México). *Ciencias marinas* 32(1): 53-63.

Field, C. D. (1996). La restauración de ecosistemas de manglar. Sociedad Internacional para Ecosistemas de Manglar. Japón. 227 p.

Flores-Verdugo, F. J., J. W. Day y R. Briseño-Dueñas (1987). Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. *Marine Ecology Progress Series* 35: 83-90.

Fuentes, F. y A. Massol-Deyá (2002). Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos, Parte 3. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. p: 1-15.

Gasca, R. y I. Castellanos (1993). Zooplankton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Rev. Biol. Trop.* 41 (3): 619-625.

Granados-Sánchez, D., G. López-Ríos, F. J. Martínez y J. Martínez-Castillo (1998). Los manglares de Quintana Roo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4 (2): 253-265.

Hernández, C. T. y G. D. Espino (1999). Ecology, production and use of mangrove, *Conocarpus erectus* L., in Barra de Tecoanapa (Guerrero, México). *Biotropica* 31: 121-134.

Hirales-Cota, M., J. Espinoza-Avalos, B. Schmook, A. Ruiz-Luna y R. Ramos-Reyes (2010) Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias Marinas* 36 (2): 147-159.

INE (2005). Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en Mexico. Dirección General de Investigación para el Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. INE-SEMARNAT. México. 21 p.

INEGI (1984). Carta Edafológica Bahía de la Ascensión E-16-2-5 escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

INEGI (1985). Carta Hidrológica de Aguas Superficiales Bahía de la Ascensión E-16-25 escala 1: 250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Kangas, P. C. y A. E. Lugo (1990). The distribution of mangroves and saltmarsh in Florida. *Tropical Ecology* 31 (1): 32-39.

Lacerda, L. D., J. E. Conde, B. Kjerfve, R. Álvarez-León, C. Alarcón y J. Polanía (2002). American Mangroves. En: L. D. Lacerda (ed). *Mangrove Ecosystems, Function and Management*. Springer. Alemania. p: 1-62.

Lacerda, L. D. y Y. Schaeffer-Novelli (1999). Mangroves of Latin America: The need for conservation and sustainable utilization. En: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología A. C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD, EUA. p: 5-8.

Landgrave, R. y P. Moreno-Casasola (2011). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental* 4 (1): 19-35.

López-Portillo, J. y E. Ezcurra (1989). Zonation in mangrove and salt marsh vegetation at Laguna de Mecoacán, Mexico. *Biotropica* 21 (2): 107-114.

López-Portillo, J., y E. Ezcurra (2002). Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques* Número especial: 27-51.

López Portillo, J., E. Ezcurra y J. M. Maass (1989). Los petenes de Sian Ka'an, Quintana Roo y su relación con gradientes de presión hídrica. *Acta Botánica Mexicana* 5: 19-29.

Lugo, A. E. y S. C. Snedaker (1974). The ecology of mangroves. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5: 39-63.

Mendoza-Morales, A. J., G. González-Sansón y C. Aguilar-Betancourt (2016). Producción espacial y temporal de hojarasca del manglar en la laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1).

Merino, M. y L. Otero (1991). Atlas Ambiental Costero. Puerto Morelos-Quintana Roo. CONACYT, UNAM y CIQRO. 80 p.

Nybakken, J. W. (2001). *Marine Biology: An Ecological Approach*. 5th ed. Addison Wesley Longman. EUA. 516 p.

Olmsted, I., A. López-Ornat y R. Durán (1983). Vegetación de Sian Ka'an: Reporte preliminar. En: Sian Ka'an: Estudios preliminares de una zona en Quintana Roo propuesta como Reserva de la Biósfera. CIQRO-SEDUE. México. p: 63-84.

Rico-Gray, V. (1982). Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste del estado de Campeche, México: Los Petenes. *Biótica* 7: 171-188.

Rodríguez-Zúñiga, M. T., C. Troche-Souza, A. D. Vázquez-Lule, J. D. Márquez-Mendoza, B. Vázquez-Balderas, L. Valderrama-Landeros, S. Velázquez-Salazar, M. I. Cruz-López, R. Ressler, A. Uribe-Martínez, S. Cerdeira-Estrada, J. Acosta-Velázquez, J. Díaz-Gallegos, R. Jiménez-Rosenberg, L. Fueyo-Mac Donald y C. Galindo-Leal (2013). Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 128 p.

Saenger, P. y S. C. Snedaker (1993). Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia* 96(3): 293-299.

Santamaría-Gallegos, N. A., G. D. Danemann y E. Ezcurra (2011). Conservación y manejo de los manglares de la península de Baja California. En: E.

F. Félix-Pico, E. Serviere-Zaragoza, R. Riosmena-Rodríguez y J. L. León de la Luz (eds). Los Manglares de la Península de Baja California. CICIMAR-CIB-UABCS. México. p: 273-292.

SEMARNAT (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección, México.

Shaw, C., J. Boothroyd, J. Kilinger y P. Rubinoff (1997). Geología costera de la región de Xcalak. *Amigos de Sian Ka'an, Número Especial 17*: 16-23.

Spalding, M. D., M. Kainuma, y L. Collins (2010). World Atlas of Mangroves. Earthscan. ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB y UNU-INWEH. Reino Unido y EUA. 319 p.

with International Society for Mangrove Ecosystems, Food and Agriculture Organization of the United Nations, UNEP World Conservation Monitoring Centre, United Nations Scientific and Cultural Organisation, and United Nations University.

Tomlinson, P. B. (1986). The Botany of Mangroves. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Tovilla-Hernández, C., D. E. Orihuela-Belmonte y L. Salas-Robledo (2009). Estructura, composición, regeneración y extracción de madera de los bosques de manglar. En: J. Espinoza-Ávalos, G. A. Islebe y H. A. Hernández-Arana (eds). El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe. El Colegio de la Frontera Sur. México. p: 45-60.

Tovilla-Hernández, C. y E. I. Romero-Berny (2012). Diagnóstico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca. *Recursos acuáticos costeros del Sureste 1*: 257-279.

Trejo, J. A. (1986). Estudio de la vegetación de la zona costera inundable perteneciente a los bordes de la laguna de Celestún, Yuc. Reporte de Servicio Social. UAM-Iztapalapa. México. 30 p.

Trejo, J. C., R. Durán y I. Olmsted (1993). Manglares de la Península de Yucatán. En: S. I. Salazar y N. E. González (eds). Biodiversidad marina y costera de México. Comisión Nacional de Biodiversidad y Centro de Investigaciones Costeras de Quintana Roo. México. p: 660-672.

UNAM (1990). Atlas Nacional de México. Vol. II (IV) Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Whigham, D. F., I. Olmsted, E. C. Cano y M. E. Harmon (1991). The impact of hurricane Gilbert on trees, litter fall and woody debris in a dry tropical forest in the northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23: 434-441.

Zaldívar, J., J. H. Silveira, C. C. Molina y D. A. Parra (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques* 10 (1): 25-35.