El Colegio de la Frontera Sur

Producción de hojarasca y estructura forestal en un manglar tipo ribereño del Pacífico Sur, México

TESIS

presentada como requisito parcial para optar el grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales

por

Rita Lorena Salas Roblero

2021

Dedicatoria

A mamá †

Agradecimientos

A mi pequeña familia por estar ahí, nada sin ustedes, en especial a mis sobrinas y sobrinos por esmerarse en estudiar.

A los amigos universitarios y del manglar.

A los integrantes de la Generación 2019-2020 por el aprendizaje adquirido, con especial cariño a: Adiel, Adriana, Erika, Fernando, Lucia, Mayra, Miriam, Vivian, Tadeo, Trinidad y Will, lindo viaje a su lado, espero lo siga siendo.

A Don Antonio y Familia de la comunidad La Palma Acapetahua, Chiapas, por su labor constante durante todo un año con el apoyo de la colecta mensual de hojarasca y, también por las lindas tardes familiares acompañadas de deliciosas comidas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca número 955664.

Al Colegio de la Frontera Sur por ser una institución que me brindo todas las facilidades para cursar y finalizar mis estudios de Posgrado.

A mi Consejo Tutelar integrado por el Dr. Cristian Tovilla Hernández, M. en E. Javier Francisco Valle Mora y Dr. Emilio Ismael Romero Berny, con sus observaciones y seguimiento el trabajo realizado alcanzo los objetivos planteados.

Por las ideas y observaciones que aportaron para enriquecer el presente documento y por su tiempo brindado, extiendo mi agradecimiento a la Dra. Dulce María Infante Mata, Dra. María Angélica Navarro Martínez y Dr. Jony Ramiro Torres Velázquez, miembros de mi Comité Evaluador.

El Colegio de la Frontera Sur

Tapachula Chiapas, a 18 de junio de 2021

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Rita Lorena Salas Roblero

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada

Producción de hojarasca y estructura forestal en un manglar tipo ribereño del Pacífico Sur, México

Para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**

	Nombre	Firma
Director	Dr. Cristian Tovilla Hernández	_____
Asesor	M. en E. Javier Francisco Valle Mora	_____
Asesor	Dr. Emilio Ismael Romero Berny	_____
Sinodal adicional	Dra. Dulce María Infante Mata	_____
Sinodal adicional	Dra. María Angélica Navarro Martínez	_____
Sinodal suplente	Dr. Jony Ramiro Torres Velázquez	_____

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN----------5

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN----------6

CAPÍTULO II

Producción de hojarasca y estructura forestal en un manglar tipo ribereño del Pacífico Sur, México. ----------9

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES----------35

RECOMENDACIONES----------35

LITERATURA CITADA----------36

RESUMEN

Los manglares son bosques tropicales y subtropicales altamente productivos que crecen en zonas intermareales y sostienen recursos con beneficios para las poblaciones costeras. En la Reserva de la Biosfera La Encrucijada se realizó en un mangle ribereño, un análisis de la variación espacio-temporal de su productividad (caída de hojarasca) y, se estudió la influencia de la distancia de cuerpos de agua en la estructura forestal y el patrón de atributos estructurales con la cantidad de hoja producida. Se utilizó un diseño factorial 3x2x2, con la distancia al estero y un canal natural como factores hidrológicos locales, y la estacionalidad como un tercer factor. Diferencias en área basal y densidad se encontraron con un Análisis de Varianza de una vía (ANEVA). Para reconocer patrones de atributos estructurales y hoja producida, se realizó un Análisis de Componente Principales, los procesos estadísticos se efectuaron en R v. 4.0.4. Entre los principales resultados se registró que *Rhizophora mangle* es dominante con atributos estructurales superiores (18.16±3.90 $m^2.ha^{-1}$ área basal, 1550 árboles.ha^{-1}, 13.94±0.42 cm DAP, 18.96±0.56 m altura y 17.38±7.05 m^2 cobertura arbórea) que *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. *R. mangle* y *A. germinans* presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en área basal y densidad con relación a la distancia al canal natural, no así con respecto al estero ($p \geq 0.05$), mientras que *L. racemosa* no mostró diferencias significativas ($p \geq 0.05$), en ambas distancias. La productividad de 1100.6 $g.m^2.año^{-1}$ fue ligeramente menor en lluvias y, en *R. mangle* se notó un patrón con los atributos estructurales y la cantidad de hoja producida. Los resultados indican un manglar productivo y estructuralmente complejo, se sugiere que en la productividad influye la red hidrológica local, y otros factores ambientales. En los humedales, estudios de productividad y su relación con el ambiente son necesarios para su conservación.

Palabras clave: Humedales, fisonomía, hidrología, estacionalidad, ambiente.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las especies de manglar son halófitas que encuentran en la temperatura del aire y los régimenes de precipitación su limitante global de abundancia (Osland 2016), en escala regional y local las variaciones en precipitación, mareas, olas y el flujo de los ríos determinan la estructura y biomasa (Lugo y Snedaker 1974), y gradientes en salinidad, condiciones edáficas, tolerancias fisiológicas, hervivoría y competencia influyen en la zonación de especies (Alongi 2009). En los manglares hay de 50 a 75 especies que se distribuyen en 20-26 géneros y 16-20 familias (Ellison 2002). En México se encuentran *Avicennia germinans* (L.) L., *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn., *Conocarpus erectus* L., y *Rhizophora X harrisonii*, Leechman, *Avicennia bicolor* Standl., y *Conocarpus erectus*, variedad Sericeus Grisebach (Rico-Gray 1981; Kauffman et al., 2013; Cornejo 2013; Rodríguez et al., 2018; Santamaría et al., 2019).

Aproximadamente, el 2% de la energía solar que llega a la tierra es utilizada por las plantas para asimilar el CO_2 atmosférico en compuestos orgánicos, el cual servirá para construir nuevas hojas, tallos, ramas y tejido de raíces, así como para mantener el tejido existente, crear reservas de almacenamiento y proporcionar defensa química (por ejemplo, ácidos polifenólicos) contra insectos, patógenos y herbívoros (Alongi 2009). La biomasa en una comunidad vegetal es la cantidad total de materia orgánica que forma parte de los organismos es expresada como peso seco, es decir, posterior a eliminar la humedad hasta alcanzar un peso constante (Terradas 2001); así la biomasa es una medida del crecimiento que se usa para evaluar la productividad primaria en los ecosistemas (Infante y Moreno-Casasola 2009). Se divide usualmente en biomasa aérea, compuesta por las partes de las plantas sobre la superficie del suelo como hojas, flores, tallos, troncos, ramas, entre otros, y subterránea como raíces, rizomas, tubérculos, entre otros (Infante y Moreno-Casasola 2009). La Producción Primaria Bruta (PPB) es la tasa de asimilación de CO_2 y la Producción Primaria Neta (PPN), es el carbono total asimilado por las plantas menos el utilizado durante la respiración (Terradas 2001), estos procesos ecológicos están relacionados con la biomasa del bosque.

Para medir la producción primaria neta de los bosques de manglar, uno de los métodos con frecuencia utilizado es la colecta de hojarasca en el suelo más el crecimiento gradual del tronco, representando ambos casi toda la producción aérea. Al medir la caída de hojarasca se mide la producción de hojas y no el crecimiento del resto del árbol, en la ecología del manglar los métodos que son utilizados para la medición de la producción forestal terrestre se han adaptado solo parcialmente para su uso en los bosques de manglares, la caída de hojarasca es el método comúnmente utilizado por la fácil medición y el bajo costo económico (Alongi 2009).

En el estudio de las comunidades vegetales, la estructura es definida como el ordenamiento espacial de la biomasa vegetal, un orden en la distribución horizontal (tamaño del árbol) y vertical (hojas, raíces) (Matteucci y Colma 1982; Terradas, 2001). Los atributos que constituyen la estructura son principalmente: diámetro, altura, cobertura arbórea, densidad, área basal, pero en el caso del diámetro o la altura del árbol, contribuyen también a conocer el estado de madurez de un bosque (Tovilla y Romero 2012). Por su parte, el área basal, la densidad y la altura son estimadores del incremento en la madera (Matteucci y Colma 1982). En los manglares, los estudios estructurales cuantitativos indican la presencia de una alta variación en las habilidades de supervivencia relacionadas con la dinámica de las mareas, la calidad del agua, frecuencia e intensidad de huracanes, salinidad del suelo entre otros (Pool et al., 1977).

Los manglares hasta la década de 1960 fueron considerados “áreas económicamente improductivas”, propiciando en gran parte del mundo su degradación y destrucción (Mitra, 2013). Durante el período 2000-2005 se estimó una pérdida mundial de 102 000 ha anuales (-0.66%) de manglar, cantidad menor a la registrada en la década de 1980 (-1.04%), cuando el área se redujo en aproximadamente un 3.5% (Valiela et al., 2001; FAO 2007). En México durante el período 2005 a 2015 la antropización del paisaje costero se incrementó de 31 a 32.3 %, valores correspondientes al Índice de Antropización Relativo Integrado (Velázquez et al., 2019).

En los últimos 50 años actividades como la camaronicultura, agricultura, extracción de sal, el desarrollo urbano y turístico, en adición a la construcción de represas en los ríos y la contaminación de las aguas marinas a causa de metales pesados, derrames de petróleo, pesticidas y agroquímicos, entre otros contaminantes, han propiciado una disminución en más del 50% de su cobertura (Mitra 2013). En México el uso de los recursos que provienen de los bosques de manglar es regulado por instrumentos de la federación como las Áreas Naturales Protegidas (ANP), a nivel internacional el instrumento que reconoce a los humedales por su alto valor para la humanidad son los sitios RAMSAR. En Chiapas en 1995 se protegió una superficie de 144 868 ha, con el decreto de creación de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (REBIEN) como ANP y la presencia de humedales destinados a la conservación (INE 1999). Dicha acción ha permitido limitar el uso directo del territorio a actividades antropogénicas, sin embargo, estudios recientes indican una presión indirecta para los humedales de la REBIEN a causa de la rectificación de los cauces de ríos y el incremento del cultivo de palma africana, actividades que han propiciado deterioro en los manglares de esta reserva (Brenner 2018). También se ha clasificado esta zona como manglar y de uso Agrícola-Pecuaria por su uso de este tipo de actividades en un 20% y un 28.65%, respectivamente (CONABIO 2016).

En la REBIEN, en la zona núcleo “La Encrucijada” se encuentran manglares extensos de bosques ribereños dominados por *R. mangle* e individuos con alturas de 20-28 m (Tovilla 2006; Tovilla y Romero 2012), que alberga flora y fauna diversa, así como bienes tangibles a los pobladores de la costa. La extensión e importancia ecológica de los bosques de mangle en la región hacen necesario el desarrollo de más estudios que permitan comprender los procesos ecológicos, el presente estudio de productividad, es un importante aporte a la comprensión de la adaptabilidad de esta vegetación al cambio climático.

CAPÍTULO II

Gmail Rita Roblero <roblero.lorena@gmail.com>

[RBT] Acuse de recibo de envío

Jeffrey Alejandro Sibaja Cordero <jeffro.alejandro@gmail.com> 21 de mayo de 2021, 15:59
Para: Rita Lorena Salas Roblero <roblero.lorena@gmail.com>

Rita Lorena Salas Roblero:

Gracias por enviar el manuscrito "Producción de hojarasca y estructura forestal en un manglar tipo ribereño del Pacífico Sur, México" a Revista de Biología Tropical. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/authorDashboard/submission/47086
Nombre de usuario/a: lorena22

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Jeffrey Alejandro Sibaja Cordero
This message has been sent automatically by the Journal for security reasons; please contact the person that prepared this mail (see below) for particular queries in this phase.

Producción de hojarasca y estructura forestal en un manglar tipo ribereño del Pacífico Sur, México

Rita Lorena Salas R[1*]; ID: http://orcid.org/0000-0002-1460-4134
Cristian Tovilla H[2]; ID: https//orcid.org/ 0000-0003-0469-9771
Javier Francisco Valle M[3]; ID: http://orcid.org/ 0000-0003-0254-57013
Emilio Ismael Romero B[4]; ID: http://orcid.org/0000-0001-9138-5193

1.Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, El Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula, Chiapas México;
rita.salas@estudianteposgrado.ecosur.mx (Correspondencia*)
2.Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula, Chiapas, México;
ctovilla@ecosur.mx
3. El Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula, Chiapas, México;
jvalle@ecosur.mx
4. Centro de Investigaciones Costeras, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México; emilio.romero@unicach.mx

Abstract: Introduction: Mangroves are highly productive tropical and subtropical forests that grow in intertidal zones and support natural resources with tangible benefits to coastal populations. **Objective:** In the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, an analysis of the spatio-temporal variation of its productivity (litterfall) was carried out in a riparian mangrove forest and was studied the influence of distance from water bodies on its forest structure and the pattern of structural attributes with the amount of litter produced. **Methods:** A 3x2x2 factorial design was used, with distance to the estuary and a natural channel as local hydrological factors, and seasonality as a third factor; a one-way analysis of variance was used to found differences in basal area and density concerning distance to water bodies; litterfall was analyzed by species, with values per day, month, and year, to recognize patterns of structural attributes and the amount of leaf produced, a Principal Component Analysis was performed, the statistical processes were carried out in the program R. v. 4.0.4. **Results:** Among the main results, it was recorded that *Rhizophora mangle* is dominant with superior structural attributes (18.16±3.90 $m^2.ha^{-1}$ basal area, 1550 $trees.ha^{-1}$ density, 13.94±0.42 cm DBH, 18.96±0.56 m height, and 17.38±7.05 m^2 tree cover) to those obtained by *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa*. *R. mangle* and *A. germinans* showed significant differences ($P \leq 0.05$) in basal area and density with the natural channel, but not concerning the estuary ($P \geq 0.05$), while *L. racemosa* did not show significant differences ($P \geq 0.05$) in both distances; productivity was 1100.6 $g.m^2.yr^{-1}$, being slightly lower in rainfall, and in *R. mangle* a pattern was observed with the structural attributes and the amount of leaf produced. **Conclusions:** The results indicate a productive and structurally complex mangrove, it is suggested that productivity is influenced by the local hydrological network, and other factors (climatic, atmospheric, edaphic, geomorphological and the use of areas other than the mangrove). Studies of productivity and its relationship with the environment are necessary to generate knowledge for the conservation of these wetlands.

Key words: Wetlands; physiognomy; hydrology; seasonality; environment

Total words: 7485

Los manglares son comunidades vegetales que se desarrollan en latitudes tropicales y subtropicales, en las que su abundancia global se relaciona con la temperatura del aire y la precipitación media anual, con límites de 7.3°C y 0.78 m, respectivamente (Osland et al., 2016). Los bosques de mangle tienen una superficie global de ~99, 300 km^2 que se concentra en 10 países con el 64% y de los cuales Indonesia, Brasil, Australia y México concentran en su superficie el 42% (Kauffman et al., 2013; Mitra, 2013), proporcionando abundantes bienes y servicios a las poblaciones costeras y con un rol importante en la ecología de las costas tropicales (Yáñez y Lara, 1999).

Lugo y Snedaker (1974) clasificaron fisonómicamente los manglares en tipos de bosque como: ribereños, franja, sobreinundados, cuenca y enanos, indicando que cada tipo estaría controlado por los patrones locales de mareas y el drenaje de la superficie terrestre. Otra manera de clasificar a los manglares es mediante la descripción de los distintos patrones en su estructura y función, con la temperatura como factor global, la geomorfología como factor regional y ecológicos como factores locales, juntos pueden integrar las diferentes escalas de factores ambientales que controlan los atributos estructurales de los bosques de mangle (Twilley et al., 1996). Los manglares son humedales sumamente productivos (Cloug, 1992; Infante y Moreno, 2009). Sin embargo, la productividad no es uniformemente alta (Clough, 1992). Twilley (1999) indica que los factores que intervienen en la producción y estacionalidad son diversos y están asociados principalmente con cambios físicos o químicos en el ambiente (radiación solar, temperatura, mareas, concentraciones de nutrientes, tipo de suelo, drenaje, concentración de oxígeno y pH), originando diferencias en la producción del manglar en un gradiente latitudinal, mientras que otros intervienen a nivel local.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la variación espacio-temporal de la productividad basada en caída de hojarasca en un manglar ribereño de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (REBIEN), Chiapas, en función de su estructura forestal y la influencia de la distancia a dos cuerpos de agua de la red hidrología local, con las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿Cuál es la productividad (caída de hojarasca) y su variación espacio-temporal en un ciclo anual?, (2) ¿Existe en un bosque ribereño variación significativa en su producción (caída de hojarasca), en la estación de secas y lluvias?, (3) ¿Cómo varia la estructura forestal de las

especies con base a la distancia a dos cuerpos de agua?, (4) ¿Cuál es el patrón de la cantidad de hojarasca producida con respecto a los atributos estructurales en cada especie?, planteándonos las hipótesis siguientes: (*i*) la caída de hojarasca anual tendrá variaciones notables con los picos máximos durante lluvias y valores mínimos en secas, a su vez, (*ii*) se espera que los valores estructurales de *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L., y *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn., sean diferentes debido a la distancia a los cuerpos de agua, en donde, *R. mangle* tendrá valores estructurales y de producción (caída de hojarasca) superiores, y (*iii*) se espera que los atributos estructurales por especie presenten un patrón con la cantidad de hojarasca que se produce.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estudio se realizó dentro de la REBIEN, Chiapas, en la zona núcleo denominada "La Encrucijada" en la región fisiográfica Planicie Costera el Pacífico de México, ubicada entre los 14° 43', 15° 40' latitud norte y 92° 26', 93° 20' longitud oeste (Instituto Nacional de Ecología [INE], 1999), presenta un clima Aw_2 (cálido-subhúmedo) (García, 1998), temperatura promedio anual de 25.3° C, y precipitación promedio anual de 1668 mm, el 95.3% de lluvia se concentra en los meses de mayo a octubre (García, 2004). En esta área se constituye una parte del sistema lagunar denominado Chantuto-Panzacola, considerado de alto valor por su potencial biológico y pesquero, con una extensión de 31 km^2, conformado por 5 lagunas: Chantuto, Campón, Teculapa, Cerritos y Panzacola, con aportes de los ríos San Nicolás, Cacaluta, Cuilapa, Doña María y Cintalapa, y conectado con el mar a través de la "Boca de San Juan", (Díaz et al., 2004; Adame et al., 2015). Estos ríos durante el año transportan diferentes volúmenes de agua debido a las lluvias, en la parte alta de la sierra presentan inclinaciones fuertes y menor cauce, en la parte media se incrementa el volumen del cauce y la profundidad, en las partes bajas se incrementa la cantidad de sedimentos, mientras que, la pedregosidad disminuye conforme a la pendiente (INE, 1999). La geomorfología corresponde a una llanura deltaica (Thom, 1967), es clasificada como oligohalina con una salinidad máxima de 7.8 ppt, y pH máximo de 8.7 (Contreras y Warner, 2004; Contreras y Castañeda, 2004). Predomina un extenso macizo forestal de manglar conformando bosques dominados por *R. mangle*, en asociación con *A. germinans* y *L. racemosa* (Tovilla, 2006; Tovilla y Orihuela, 2013).

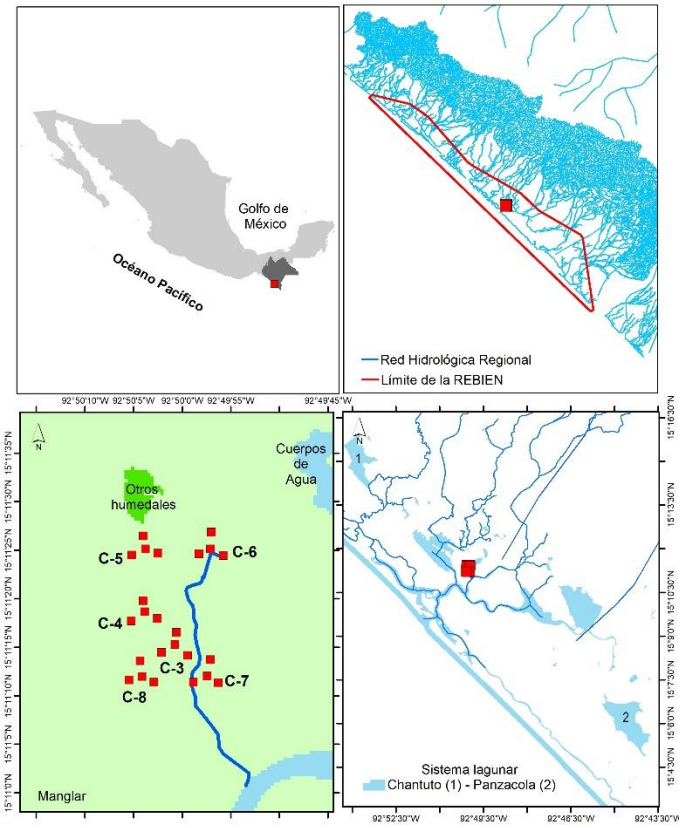


Fig.1. Esquema de ubicación espacial de las unidades de muestreo (UM).

Método: Dentro del sub-sistema lagunar Campón-Teculapa, en un bosque de manglar tipo ribereño (Lugo y Snedaker, 1974), el cual recibe aporte fluvial de los ríos Cacaluta y Doña María, y agua marina de la boca barra abierta denominada San Juan. Aproximadamente a 8 km; se seleccionaron 24 de 32 unidades de muestreo (UM) distribuidas en seis conglomerados, cada conglomerado constituido por 4 UM de forma circular, radio de ~12 m, y un área de 400m^2 cada una, dispuestas en campo en posición que forma la letra "Y" invertida ((Hollinger, 2008; Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2009; Birdsey et al., 2013; Tovilla et al., 2018), localizadas sobre un canal natural que ingresa agua proveniente del estero Campón y hacia el interior se conecta con un pequeño cuerpo de agua (Fig.1.), situadas a tres distancias hacia el estero el Campón: 0-400 m (C-7, C-8), 400-700 m (C-3, C-4), y 700-900 m (C-5, C-6) y a dos distancias próximas al canal natural: 0-100 m (C-7, C-3, C-6), y 100-200 m (C-8, C-4, C-5) (Fig.1); se utilizó un diseño factorial de 3x2x2, con la distancia al estero como un factor de tres niveles, la distancia al canal natural como otro factor con dos niveles, y el factor de estacionalidad con dos niveles (secas y lluvias).

Estructura Forestal: En cada UM se midió con una cinta diamétrica el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles mayores a los 2.5 cm de DAP en todos los individuos de *A. germinans* y *L. racemosa*, el diámetro de *R. mangle* se midió por encima de la última raíz aérea, alrededor de 30 cm (Pool et al., 1977), y utilizando el clinómetro Vertex, basado en sonido ultrasónico y principios trigonométricos (Rodríguez et al., 2018), se midió la altura (m), y la cobertura arbórea (m^2), la cual se obtuvo al medir perpendicularmente ambos ejes (mayor y menor) de la copa del árbol (Bechtold et al., 2002), se cuantificó la mortalidad natural y la extracción estimando el DAP de los árboles caídos y los talados (tocones). Se calcularon el Índice de Valor de Importancia (IVI), Índice de Valor Forestal (IVF) e Índice de Complejidad de Holdridge (IC), para obtener la valoración estructural de los rodales (Corella et al., 2001), en donde, el Índice de Complejidad de Holdridge, integra de los bosques las características estructurales y florísticas, (Blanco et al., 2001), el IVI, es un índice de importancia estructural del bosque utilizado en rodales mezclados y el IVF, es un índice que considera la altura de todos los árboles de un rodal y la cobertura arbórea (Corella et al., 2001).

Producción de hojarasca: En el área de estudio se instalaron en campo 48 canastas colectoras de hojarasca; se dispusieron a una altura no mayor a 2 m por debajo del dosel (Infante y Moreno, 2009; Agraz et al., 2015; Rodríguez et al., 2018). Por cada UM, se instalaron 2 canastas colectoras (de forma rectangular y material de luz de malla de polietileno 0.1 mm y área de 0.5 m^2), orientadas de norte a sur y con una separación próxima a 12 m. La recolección de hojarasca fue mensual entre enero y diciembre de 2020. El material recolectado se procesó en el Laboratorio de Cuencas y Manejo Integral de Zonas Costeras en El Colegio de la Frontera Sur en Tapachula, México. El material recolectado se procedió a secar durante un intervalo de tiempo aproximado de 40-60 hr dependiendo de su humedad, en una caja secadora con capacidad calorífica para que el material recolectado alcance un peso seco constante, posteriormente se realizó la separación de los componentes por especie y se pesaron (Bascula Novel, Model NBCE-CF con 0.01 g de precisión), por separado hojas, botones, flores, estipulas, frutos, ramas y misceláneos (Infante y Moreno Casasola, 2009; Adame et al., 2013; Torres et al., 2017).

Análisis de Datos: Se analizaron para cada especie de mangle con base a las distancias al estero y el canal natural, los siguientes atributos estructurales: DAP (cm), altura (m), cobertura arbórea (m^2), área basal ($m^2.ha^{-1}$), densidad ($árboles.ha^{-1}$), así como la mortalidad y extracción, y los índices de valoración estructural (IVI, IVF e IC); por especie el área basal y la densidad se distribuyeron en 16 clases diamétricas, con una amplitud de 2.5 cm para cada clase, nombradas de A-P, así la clase A fue de 2.5-5.0 cm, la clase B de 5.1 a 7.5 cm, así hasta la última clase P de > 40.0 cm de diámetro, para conocer, con base a la distancia a los cuerpos de agua, las diferencias en área basal y densidad, los datos se analizaron con un Análisis de Varianza de una vía (ANEVA), utilizando los Test de Fligner, Durbin-Watson y Anderson-Darling para comprobar los supuestos de homocedasticidad, independencia y normalidad, respectivamente; se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando la No-Normalidad de los datos fue muy fuerte; en cada especie los valores de producción (caída de hojarasca), y su variación estacional, se promediaron para presentar resultados en $g.m^2.día^{-1}$, $g.m^2.mes^{-1}$, $g.m^2$-$año^{-1}$, y se ajustó un suavizador no paramétrico Spline Cúbico para reconocer una tendencia estacional; para reconocer patrones de la cantidad de hojarasca producida anualmente con respecto a los atributos estructurales de cada especie se utilizó un Análisis de Componentes Principales (PCA); los análisis estadísticos se desarrollaron dentro del ambiente del programa R, (The R Project for Statistical Computing), versión 4.0.4.

RESULTADOS

Estructura Forestal: El bosque de mangle ribereño en la REBIEN muestra como especie dominante a *R. mangle*, asociándose con *A. germinans* y *L. racemosa* (Cuadro 2A, 2B). Los resultados no mostraron interacción entre la distancia al estero y el canal natural para el área basal y la densidad en el caso de *R. mangle* (F=1.43, gl=2,18, p=0.264, F=0.295, gl=2,18, p=0.747) y *L. racemosa* (F=2.97, gl=2,18, p=0.076, F=0.37, gl=2,18, p=0.694). En área basal ($m^2.ha^{-1}$), la distancia al estero no registró diferencias significativas en *R. mangle* (F=0.83, gl=2,18, p=0.448), *Avicennia germinans* (H=3.66, gl=2, p=0.1604), y *L. racemosa* (F=0.11, gl=2, 18, p=0.887); en la distancia al canal natural, *R. mangle* (F=10.10, gl=1,18, p=0.005) y *A. germinans* (H=12.18, gl=1, p=0.0005179) registraron diferencias significativas, mientras que *L. racemosa* no registró diferencias significativas (F=1.28, gl=1,18, p=0.271). En densidad de árboles ($árboles.ha^{-1}$), la distancia al estero no registró diferencias significativas en *R. mangle* (F=1.16, gl=2, 18, p =0.334), *A. germinans* (H=0.75, gl=2, p =0.6872) y *L. racemosa* (F=0.48, gl=2,18, p=0.621), en la distancia

al canal natural, *R. mangle* (*F*=8.96, gl=1,18, *p* =0.007) y *A. germinans* (H=10.44, gl=1, *p*=0.001335) registraron diferencias significativas, no así *L. racemosa* (*F*=0.85, gl=1,18, *p*=0.271).

En *R. mangle* el área basal a 900 m de distancia al estero y 0-100 m del canal natural mostró un valor de 18.16±3.90 $m^2.ha^{-1}$, mientras que, a 700 m y 100-200 m, su valor fue de 10.16±1.93 $m^2.ha^{-1}$; DAP y altura fueron superiores a 700 m y 100-200 m (13.94±0.42 cm, 18.96±0.56 m, respectivamente) y valores inferiores a 900 m y 0-100 m (9.72±1.02 cm, 13.48±1.25 m, respectivamente), la cobertura arbórea (m^2) a 900 m del estero y 0-100 m del canal natural fue de 17.38±7.05 m^2 y a 100-200 m de 4.88±1.43 m^2; la densidad de1550 árboles.ha^{-1} se mostró a 900 m y 0-100 m, y densidades de 588 árboles.ha^{-1}, a 700 m y 100-200 m (Cuadro 1).

En *A. germinans* valores altos de área basal, DAP, altura y cobertura arbórea se mostraron a 700 m del estero y 100 a 200 m del canal natural (6.70±0.49 $m^2.ha^{-1}$,14.72±2.26 cm, 16.76±2.85 m, 12.90±2.70 m^2, respectivamente), la mayor densidad de 931 árboles.ha^{-1} fue a 900 m y 100-200 m, valores bajos de área basal, DAP y densidad (0.03 $m^2.ha^{-1}$, 0.93 cm, 25 árboles.ha^{-1} respectivamente), a 900 m y 0 a 100 m, mientras que la menor cobertura arbórea (3.90 m^2) se mostró a 900 m y 100-200 m, la altura del dosel menor fue de 3.09 a 300 m y 0-100 m (Cuadro 1).

En *L. racemosa* el mayor valor de área basal y DAP fue a 700 m y 100-200 m del canal natural con 2.80±1.93 $m^2.ha^{-1}$, 15.76±10.55 cm, respectivamente, altura de 17.94±12.04 m, a 400 m y 100-200, y resultó una mayor cobertura arbórea a 900 m y 0-100 m con 13.34 m^2; los valores menores en área basal, DAP, altura, y cobertura arbórea, de 0-100 m (0.45 $m^2.ha^{-1}$, 3.91 cm, 5.8 m, 2.30 m^2, respectivamente), densidad de 156 árboles.ha^{-1} a 400 m del estero y 0-100 m del canal natural, y 63 árboles.ha^{-1} se obtuvieron a 100-200 m, en la misma distancia al estero (Cuadro 1).

En la distribución del diámetro en clases diamétricas, *R. mangle* en las clases E-J (12.6-20 cm) concentraron el 43% del área basal y en las clases L-P (30.1 > 40 cm) un 11%, en densidad, las clases A-B (> 2.5-7.5 cm), concentraron un 46% del arbolado y las clases E-J (12.6-20 cm) el 27%, y el 1% se concentraron en las clases L-P (30.1 > 40 cm) (Fig. 2A, 2B); en *A. germinans* las clases A-D (> 2.5-12.5 cm) concentraron el 29% del área basal y en densidad el 85% (Fig. 2C, 2D); en *L. racemosa* el 59% del área basal se concentró en las clases G-J (17.6-27.5 cm), y en densidad estas mismas clases concentraron el 14% (Fig. 2E, 2F).

CUADRO 1

Atributos estructurales del bosque de mangle en el área de estudio

D (m)	Sp	Dap		Área basal		Densidad		Altura		Cobertura	
		0-100 m X̄	100-200 m X̄	0-100 m X̄	100-200 m X̄	0-100 m X̄	100-200 m X̄	0-100 m X̄	100-200 m X̄	0-100 m X̄	100-200 m X̄
400	Ag	2.22±4.43	6.13±2.58	0.36±0.73	2.71±2.63	50±100	481±169	3.09±6.18	7.01±2.05	9.80±9.80	6.15±3.89
	Lr	3.91±3.68	15.30±10.39	1.06±1.55	2.00±1.99	156±183	63±60	5.81±7.12	17.94±12.04	2.30±3.97	6.19±4.66
	Rm	11.54±7.22	12.93±2.84	17.35±3.80	15.95±4.58	1500±769	1000±235	14.33±5.91	17.82±2.99	11.73±11.33	6.74±1.39
700	Ag	6.47±6.18	14.72±2.26	1.77±2.81	6.70±0.49	281±238	338±60	6.8±4.00	16.76±2.85	6.64±8.04	12.90±2.70
	Lr	5.97±5.91	15.76±10.55	0.45±0.62	2.80±1.93	69±52	75±50	9.55±8.20	16.44±10.97	3.78±4.41	9.03±6.37
	Rm	10.79±1.71	13.94±0.42	18.05±4.55	10.16±1.93	1375±366	588±83	14.36±0.78	18.96±0.56	5.90±1.20	9.04±0.34
900	Ag	0.93±1.85	5.64±0.55	0.03±0.03	2.91±3.39	25±25	931±1036	9.50±9.50	7.40±0.71	4.90±4.90	3.90±0.77
	Lr	10.87±11.71	6.50±6.33	1.89±1.41	0.66±0.80	150±178	106±83	11.2±9.32	9.67±7.99	13.34±14.05	2.60±2.48
	Rm	9.72±1.02	9.75±1.84	18.16±3.90	10.45±6.28	1550±266	1100±699	13.48±1.25	13.97±3.06	17.38±7.05	4.88±1.43

CUADRO 2

Índices de Valoración Estructural del bosque de mangle en el área de estudio

A

Sp	Densidad relativa %	Dominancia relativa %	Frecuencia relativa %	IVI
Ag	21.3	12.7	34.7	68.7
Lr	6.3	7.8	19.0	33.2
Rm	72.4	79.4	46.3	198.1

B

Sp	DAP relativo %	Altura relativa %	Cobertura arbórea relativa %	IVF
Ag	15.5	14.1	14.3	43.9
Lr	7.0	6.8	10.5	24.3
Rm	77.5	79.1	75.2	231.8

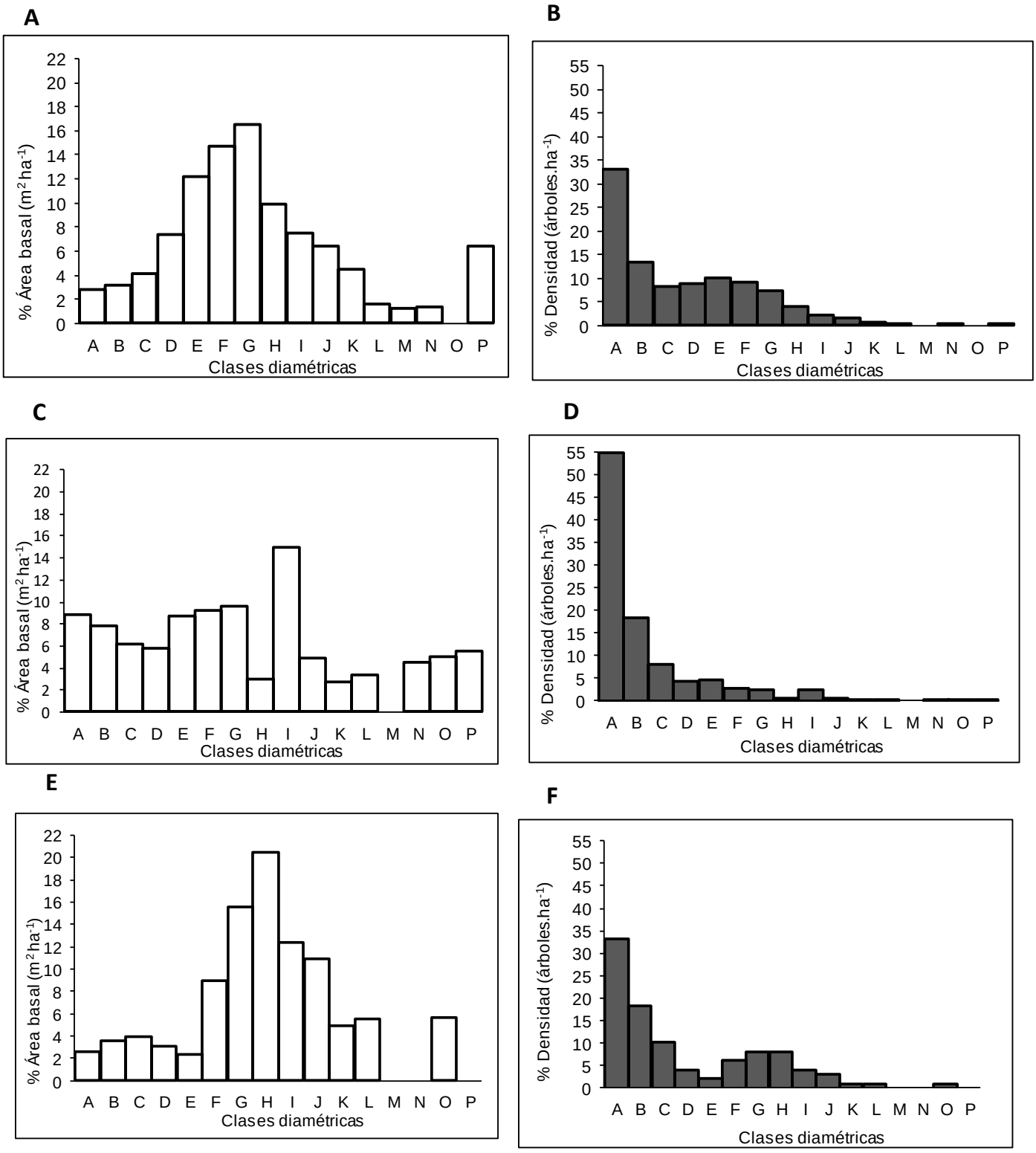


Fig. 2. Distribución de categorías diamétricas en área basal y densidad; letras A y B representan a la especie de *R. mangle*; letras C y D representan *A. germinans* y letras E y F representan a *L. racemosa*.

El Índice de valor de importancia (IVI) y el Índice de desarrollo forestal (IVF), mostró a *R. mangle* con los mayores valores (198, 232, respectivamente), en *L. racemosa* los valores de IVI y IVF (33, 24) fueron los mínimos (Cuadro 2A, 2B); el índice de complejidad de Holdridge mostró un valor medio de 20, y valores máximos de 50, 37 y 34, se registraron en UM con una distancia de 0-100 m del canal natural. En este mangle ribereño, en relación a la mortalidad natural y la extracción forestal, ambas representaron el 7.3% del área basal total.

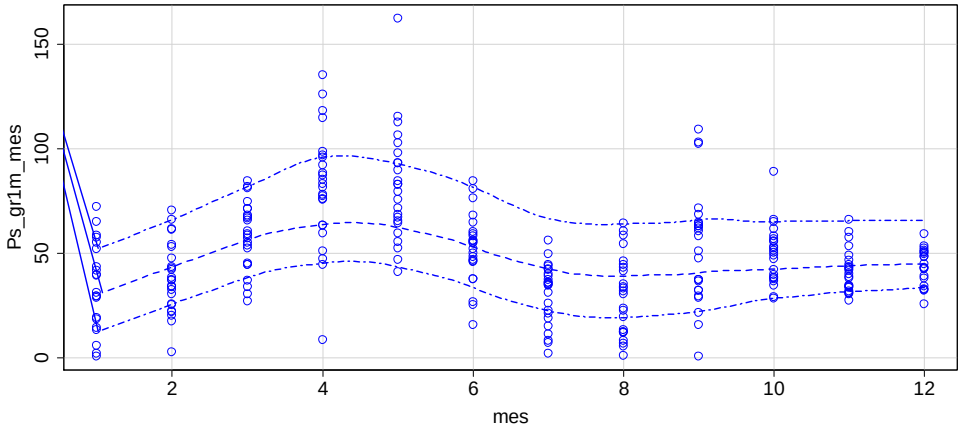
Producción de hojarasca: El manglar ribereño registró para el componente de hojas una producción de las tres especies de manglar de 684.01 $g.m^2.año^{-1}$, 57.00 $g.m^2.mes^{-1}$, y 1.87 $g.m^2.día^{-1}$, (Cuadro 3). La caída de hojarasca sumando todos sus componentes (hojas, botón floral, flores, frutos, propágulo, estipula, ramas y misceláneos) fue de 1100.6 $g.m^2.año^{-1}$, con el componente hojas presente en todo el año y aportando el 62% al total de hojarasca, estructuras reproductivas (flor, fruto y propágulos), junto con las estipulas aportaron el 19%, ramas menores el 11%, el componente misceláneos 7% y botones florales 1%. La producción de caída de hojarasca en los meses más húmedos (mayo-octubre) fue de 48%, mientras que se incrementó ligeramente durante la estación de secas (52%). La producción de *R. mangle* en el componente hojas fue de 599.00±40.56 $g.m^2.año^{-1}$ (Cuadro 3), lo que equivale al 88% del total de hojas producidas en el bosque, su mayor caída de hojas ocurrió durante mayo y abril (82.2±15.4 $g.m^2.mes^{-1}$, 81.3±9.1 $g.m^2.mes^{-1}$, respectivamente), por el contrario en agosto y julio se cuantificaron valores mínimos (29.9.3±15.1 $g.m^2.mes^{-1}$, 30.8±6.9 $g.m^2.mes^{-1}$, respectivamente) (Fig. 3A); en *A. germinans* la caída total de hojas fue de 63.86±21.03 $g.m^2.año^{-1}$,(Cuadro 3) en enero y marzo mostró sus valores más altos (14.7±4.8 $g.m^2.mes^{-1}$, 13.3±5.8 $g.m^2.mes^{-1}$, respectivamente) (Fig. 3B), no registró caída de hojas en noviembre y diciembre (Fig. 3B); *L. racemosa* mostró una caída total de hojas de 21.15±8.51 $g.m^2.año^{-1}$, (Cuadro 3) su mayor caída sucedió en los meses de marzo y abril (5.03±0.30 $g.m^2.mes^{-1}$, 3.78±1.11 $g.m^2.mes^{-1}$, respectivamente), y en los meses de noviembre y octubre las menores (0.07±0.10 $g.m^2.mes^{-1}$, 0.10±0.18 $g.m^2.mes^{-1}$), (Fig. 3C).

CUADRO 3

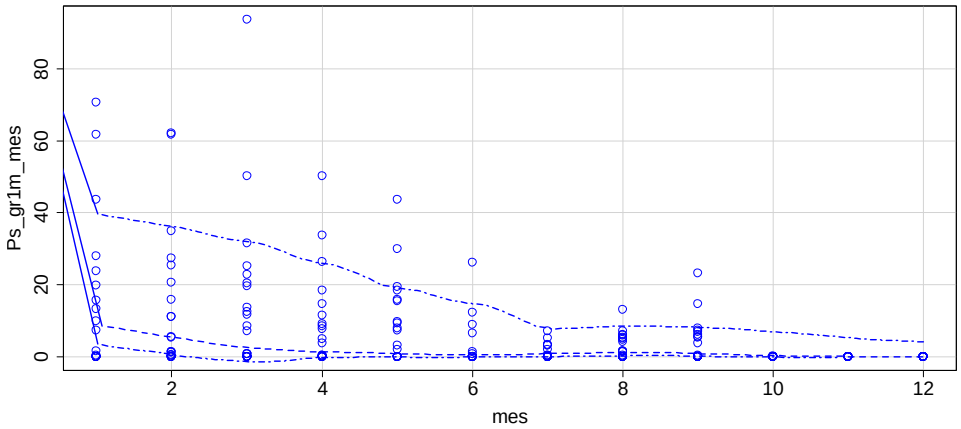
Valores del componente hojas del bosque de mangle en el área de estudio

Sp	**$g.m^2.día^{-1}$**	**$g.m^2.mes^{-1}$**	**$g.m^2.año^{-1}$**
Ag	0.17±0.06	5.32±1.75	63.86±21.03
Lr	0.06±0.03	1.76±0.071	21.15±8.51
Rm	1.63±0.11	49.92±3.38	599.00±40.56
Total	**1.87**	**57.00**	**684.01**

A



B



C

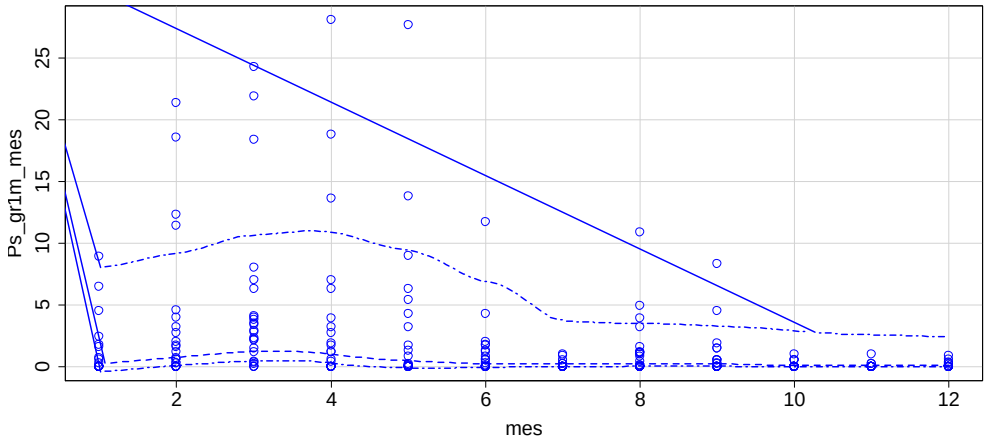


Fig.3. Gráficos de tendencia y estimador no paramétrico Spline cúbico de caída de hojas en un ciclo anual; letra A representa a la especie de *R. mangle*; letra B representa *A. germinans* y letra C representa a *L. racemosa*.

El Análisis de Componentes Principales arrojó el primer componente principal (PC1) con una varianza del 60.20% y el segundo componente principal (PC2) con una varianza del 29.23%, por lo tanto, acumuladamente el 89.43% de la información analizada está incluida dentro de estos dos componentes (Cuadro 4, Fig.4).

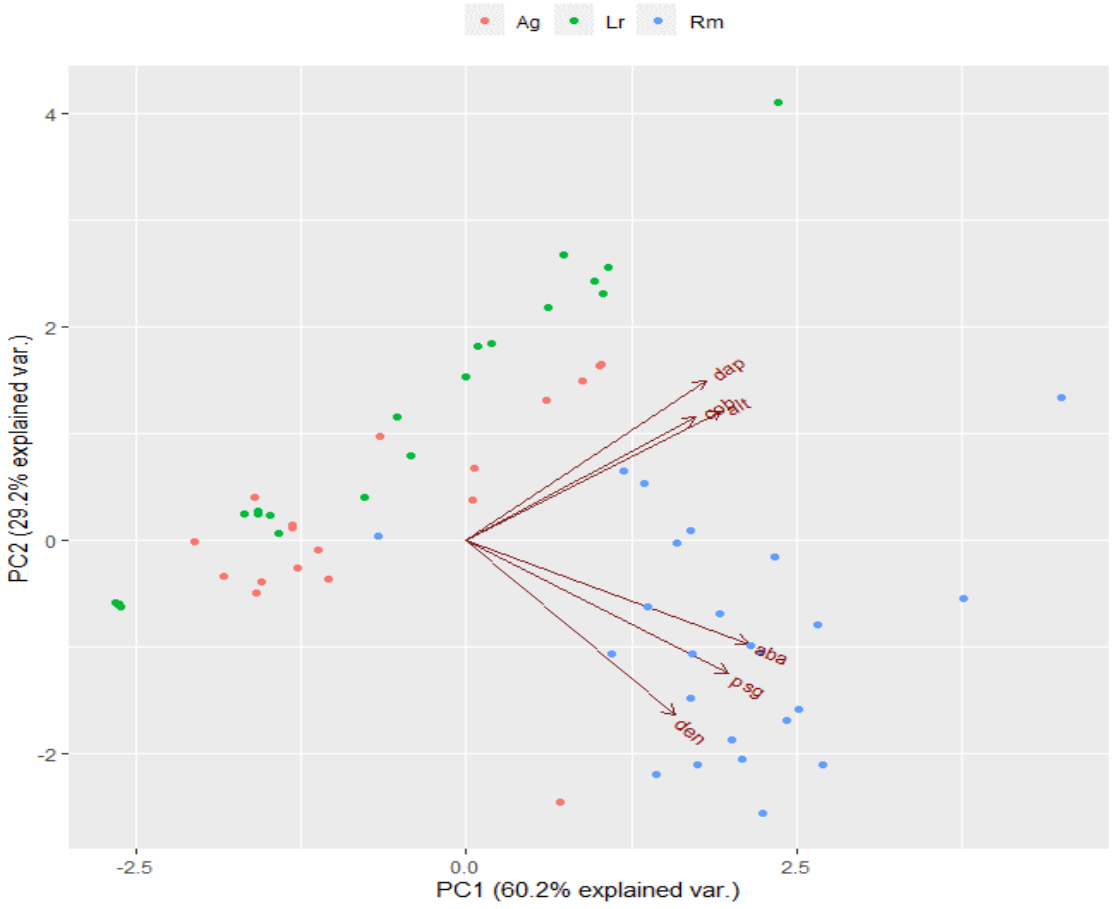


Fig.4. Gráfico de Análisis de Componentes Principales, con un 60% de variación en PCI y un 29% en PC2

CUADRO 4

Valores obtenidos del Análisis de Componentes Principales

Componente Principal	Eingenvalor	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
PC1	3.61	60.2	60.2
PC2	1.75	29.23	89.43
PC3	0.37	6.23	95.66
PC4	0.19	3.11	98.78
PC5	0.05	0.81	99.58
PC6	0.03	0.42	100

DISCUSIÓN

La hidrología es un factor que determina en los bosques de manglar su composición y distribución (Lugo y Snedaker, 1974), e incluye la energía cinética del flujo de agua, dirección (en mangles tipo ribereño el flujo de agua tiene solo una dirección), e hidroperíodo (Lugo et al., 1988); en el bosque de mangle estudiado, la distancia espacial de las especies respecto a los cuerpos de agua influyó en su estructura forestal; respecto a la distancia hacia el canal natural, en *R. mangle* los valores superiores de atributos estructurales se encontraron a una menor distancia, mientras que en *A. germinans* sus atributos estructurales fueron inferiores, sin embargo, a mayor distancia del canal natural, es decir, hacia el interior del bosque, los valores de *A. germinans* y *L. racemosa* fueron superiores a los registrados por *R. mangle.*

Ball (1980) al realizar un estudio en tres bosques de mangle inducidos y uno natural (compuesto principalmente de *R. mangle*) en Bahía de Biscayne, Florida, EUA., encontró diferencias en la hidrología que propiciaron afectaciones en los depósitos sedimentarios, mientras que, en los sitios inducidos la heterogeneidad en el tamaño de los árboles de *R. mangle* y *L. racemosa*, podía ser causa de diferencias en la salinidad y movimiento del agua, debido a factores físicos del ambiente en la capacidad de competencia de cada especie, lo que explicaría la distribución de los bosques de mangle en la zonificación representativa, por otro lado, en tipos fisonómicos como los bosques de mangle ribereño, su desarrollo es influenciado por la escorrentía terrestre, haciéndolos susceptibles a usos del suelo en las partes altas de la cuenca (Lugo y Snedaker, 1974; Lugo, 1980).

El área de estudio no muestra bosques reforestados, sin embargo, la presencia de *A. germinans* y *L. racemosa* podría ser explicado por otros factores locales como la salinidad. En este bosque ribereño el flujo de agua dulce se incrementa naturalmente al iniciar las lluvias, favoreciendo a *R. mangle* al disminuir la salinidad, en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola que incluye este bosque, Gómez et al. (2017) encontraron con datos de 1999-2009 y 2005-2016 que, durante las lluvias la salinidad registraba en la mayoría de las unidades y años muestreados un valor mínimo de 0 UPS, mientras que, Selvas (2017) registró el valor máximo de salinidad en secas con 52.77±0.47 y valores en lluvias de 14.01±2.05 UPS.

Diferencias en la salinidad se observan a nivel regional, por ejemplo en el sistema de humedales el Castaño (área cercana al estudio), Rincón et al. (2020) indican que el gradiente de salinidad (en una escala de mayor a menor contribución marina) es un factor decisivo en la distribución, composición, diversidad y estructura de la vegetación; en el sistema lagunar La Mancha, Veracruz, región del Golfo de México, Agraz et al., (2011) en un bosque ribereño observaron cambios fisonómicos a causa de cambios en la hidrología así como en la microtopografía. En el área de estudio la estacionalidad marcada que se presenta en la región entre secas y lluvias modifica el flujo hidrológico ocasionando cambios en la salinidad durante el año.

Lugo et al., (1980) indican que la altura y la complejidad del bosque explica condiciones favorables para el crecimiento de los manglares; para los árboles del sitio de estudio a menor distancia del canal natural registraron en *R. mangle* alturas > a 20 m, y diámetros > 30 cm, a su vez, las densidades encontradas (1500 árboles.ha^{-1}), son altas, mientras que, valores obtenidos en el Índice de Complejidad de Holdrige, indicaron alta complejidad, a su vez, esta especie registró valores superiores en el IVI y el IVF.

Los resultados encontrados son similares a los analizados por Velázquez et al. (2019), en contraste, los mangles ribereños del sub-sistema lagunar Hueyate-Panzacola (cercanos al área de estudio), presentan un valor mínimo de área basal de 25.76 m^2 ha^{-1} y densidades máximas de 2966 árboles.ha^{-1} (Tovilla y Romero, 2012), a su vez, en regiones hacia el norte del Pacífico en manglares del Ejido Villa Juárez, en rodales no cosechados de *L. racemosa* la densidad mínima (1267 árboles.ha^{-1}) y el área basal máxima (36.88 m^2 ha^{-1}) (Valdez, 2002), difirieron de los obtenidos para estos bosques ribereños; en el sub-sistema lagunar de Hueyate-Panzacola el ingreso de agua marítima es menor dado la distancia, lo que podría favorecer a una mayor complejidad de los bosques ribereños reflejado en atributos estructurales superiores a los analizados, en otras regiones, como en los rodales del Pacífico Norte, en donde la presencia de *R. mangle* es menor, al encontrarse hacia la desembocadura y margen derecha del río Santiago, Valdez (2002), *L. racemosa* encuentra probablemente mejores condiciones en su crecimiento; en condiciones geomorfológicas estables, no se produciría un cambio en los tipos fisonómicos (de ribereño a cuenca, o de cualquier otro tipo de mangle a otro (Lugo et al., 1980).

Sin embargo, tensiones antropogénicas, cambios en el drenado natural, incremento de la salinidad en el suelo y de la sedimentación, entre otros, causan una reducción en la altura del dosel y en el vigor del bosque (Lugo et al., 1980), lo que implicaría cambios en la producción y productividad.

En este bosque de mangle ribereño la producción de caída de hojarasca con 1100.6 $g.m^2.año^{-1}$, sugiere una alta productividad, similar a otros tipos fisonómicos, como los manglares tipo franja del Pacífico norte, Sinaloa con 1100 $g.m^2.año^{-1}$ (Flores et al., 1987), manglares ribereños del Golfo de México con 1224.9 $g.m^2.año^{-1}$·(Agraz et al., 2011), y manglares de franja con tendencia a ribereños en Laguna de Términos Campeche produciendo 1160 a 1838 $g.m^2.año^{-1}$ (Agraz et al., 2015), la producción fue menor en relación a otros humedales, como los reportados para las llanuras aluviales costeras del Golfo de México con 9~15 $ton.ha^{-1}.año^{-1}$ (Infante et al., 2012).

El componente hojas de las tres especies de manglar, aportó el 62% de la producción de caída de hojarasca, siendo *R. mangle* la especie con mayor aportación (599.00±40.56 $g.m^2.año^{-1}$), reflejando una diferencia de producción con otras partes del mundo, en donde especies de la familia Rhizophoraceae dominan, como las estimadas en Darwin Harbour, N.T., Australia con 685.7 ± 35.2 $g.m^2.año^{-1}$, con un 73% aportado por el componente hoja y dominancia de *R. stylosa* (Woodroffe et al.,1988), los manglares de Phuket Island, Tailandia con 7.4 $ton.ha^{-1}$ (5.9 ton ha^{-1}, en el área de estudio) con dominancia de *Rhizophora apiculata* (Christensen, 1978), y los manglares de Okinawa, Japón dominados por *Rhizophora stylos*a con 618.0±21.7 $g.m^2.año^{-1}$ (Kamruzzaman, 2012); la producción en bosques con influencia de ríos en Laguna de Mecoacán dominados por *A. germinans* (IVI= 58.19) en asociación con *R. mangle* (IVI= 41.81) fue menor (30.9 ± 4.9 $g.m^2.mes^{-1}$) (Torres et al., 2017) a los obtenidos en el área de estudio (49.92 ± 3.38 $g.m^2.mes^{-1}$), y en bosque ribereños en Laguna de Mecoacán, en Guerrero la producción fue mayor a las obtenidas en el área de estudio (67.1 g. $m^2.mes^{-1}$, Tovilla, 1998); la producción de caída de hojarasca fue menor en comparación con manglares mixtos de la isla Motupore en Papua Nueva Guinea con 1430 g. $m^2.año^{-1}$ (Leach y Burgin, 1985), y manglares del río estuarino de São Francisco, Sergipe, Brasil con 13.21 $t.ha^{-1}.año^{-1}$ (Oliveria et al., 2019), sugiriendo que los régimenes de lluvia y la posición geográfica influyen en la producción anual.

En este bosque ribereño la estacionalidad de la caída de hojarasca fue ligeramente superior en la estación de secas con respecto a la estación húmeda, situación que puede explicarse dado que al iniciar las lluvias en la parte alta de la cuenca, estas influyen para que el flujo de agua dulce que ingresa al sub-sistema lagunar disminuya la salinidad en el suelo, con el avance de la estación, la salinidad en el suelo continua decreciendo, este proceso probablemente generé estrés hídrico, observándose de esta manera una reducción de producción en julio y agosto, meses dentro de la estación más húmeda del año, al respecto, Leach y Burgin (1985) indican que en estuarios, la salinidad puede explicar los cambios en la producción de hojarasca y su estacionalidad en términos fisiológicos no suele ser explicada por las variaciones en la salinidad, sino debido a la estación húmeda la cual disminuye el estrés, a su vez, Woodroffe et al., (1988) indican que las lluvias propician que la producción de hojarasca sea distinta, con una mayor producción en la estación húmeda.

De esta manera la estacionalidad es distinta según los regímenes de precipitación, por ejemplo en manglares de Laguna de Términos Campeche, Day et al. (1996) reportaron en bosques tipo cuenca una productividad (caída de hojarasca) generalmente con un pico más alto al final de la estación de secas y un pico menor en lluvias; en lugares con distinto régimen de lluvias se observó una mayor producción en la estación húmeda, como los bosques de mangle en Papua Nueva Guinea, (Leach y Burgin, 1985), a su vez, Wafar (1997) encontró en manglares del complejo estuarino Mandovi-Zuari, India caída de hojarasca de *R. apiculata*, *R. mucronata, S alba y A. officinalis* en 11.7, 11.8, 17 y 10.2 $t.ha^{-1}.año^{-1}$, respectivamente, con picos más bajos de producción en lluvias.

Las condiciones del medio ambiente en la estación de secas indican menor humedad en el suelo, bajas mareas e incremento de la evapotranspiración, propiciando estrés hídrico a los árboles para mejorar la senescencia de la hoja, proceso que genera una alta caída en la estación de secas (Day et al., 1996), al respecto López y Ezcurra (1985) encontraron una fuerte correlación de la productividad (caída de hojarasca) y su estacionalidad con la evapotranspiración, insolación y temperatura. Leach y Burgin (1985) indican que las causas de estacionalidad en los así como los ciclos fenológicos son consecuencia de una combinación de factores que incluyen variables externas, fisiología interna del árbol y aspectos ecológicos de polinización y dispersión de propágulos, a su vez, Lugo y Snedaker (1974) indican que con escases de lluvias o una alta evapotranspiración la salinidad se incrementa y esto influye en el dosel del bosque, al tener un alto

costo energético se reduce, reducción asociada a un 40% menos de productividad primaria neta; lo que podría generar una reducción en la producción anual de caída de hojarasca. De esta manera la salinidad del suelo y el clima regional son factores que tienen influencia en la variabilidad estacional de producción de caída de hojarasca (Zaldivar et al., 2004).

En la interpretación del análisis realizado para reconocer un patrón de la estructura forestal y la cantidad de hoja producida, en el gráfico de Análisis de Componentes Principales, se observa que *R. mangle* esta visualmente separada y de lado opuesto a *A. germinans* y *L. racemosa*, ambas especies también separadas entre sí, a su vez, la dirección de las flechas y la ubicación en el eje del gráfico hacen en su conjunto un patrón en donde coinciden *R. mangle*, atributos estructurales y producción anual de hojas, no así en *A. germinans* y *L. racemosa*, se infiere que ambas especies no generaron un patrón, dado las condiciones locales en el ambiente como la hidrología que influye en la salinidad.

Se esperaría que una complejidad estructural producirá alta cantidad de hojarasca durante un ciclo natural; al respecto se reconoce que la cantidad de producción de hojarasca no se explica con la estructura forestal, siendo determinantes la rotación del agua dulce, aportación de nutrientes, variables climáticas (como la precipitación, evapotranspiración y temperatura), tipos fisonómicos, y actualmente el manejo del territorio y sus cambios, lo que explicaría más ampliamente la producción y productividad (caída de hojarasca) en los bosques de mangle (Flores et al., 1987; Pool et al., 1977; López y Ezcurra, 1985; Agraz et al., 2015).

Aun cuando no se explica una posible relación de la estructura forestal y la cantidad de hojarasca producida, Saenger y Snedaker, 1993, encontraron que mayores valores en altura y caída de hojarasca son propiciados por condiciones óptimas principalmente con diferencias mínimas de salinidad, clima favorable y suelos fértiles, a su vez, Quadros et al., (2019) analizaron la estructura de la vegetación en los bosques de mangle de la Península de Ajuruteua, Brasil, para conocer si su estructura forestal proporcionaba estimaciones confiables en la cantidad de hojarasca producida anualmente, encontrando que la densidad y la identidad de la especie influye en la distribución espacial y temporal, y en las características de la hojarasca, así, con los cambios en el tiempo en el tamaño de los árboles, por sucesión o alguna perturbación, la densidad y composición de especies, la cantidad y calidad (en relación a descomposición y digestibilidad) de la hojarasca, también cambiará causando efectos en el ciclo de nutrientes y redes tróficas.

Con base a los resultados sugerimos que, en este bosque de mangle ribereño con alta productividad (caída de hojarasca), la hidrología del agua dulce aportada por los ríos al sub-sistema lagunar Campón-Teculapa, es un factor local que influye en la estructura forestal, la producción y variabilidad anual de la caída de hojarasca propiciando condiciones para el dominio de *R. mangle* sobre *A. germinans* y *L. racemosa*; gran parte de los bosques de la zona núcleo de la REBIEN son fisonómicamente similares. Es necesario continuar con estudios de períodos más amplios que permitan comprender la hidrología local asociada a otros factores (climáticos, atmosféricos, nutricionales, edáficos y de uso del territorio) y su influencia en la estructura forestal y la producción asociados a la variabilidad temporal, información de importancia ecológica para comprender los cambios derivados del cambio climático. Con base a las hipótesis planteadas, se rechaza la primera debido a que los mayores valores de caída de hojarasca se obtuvieron en secas; se acepta la segunda hipótesis al encontrar que los factores hidrológicos en relación a la distancia en ambos cuerpos de agua favorece las diferencias estructurales para la dominancia de *R. mangle.* La tercera hipótesis se rechaza al encontrar que solo en *R. mangle* se muestra un patrón entre la cantidad de hojarasca producida y los atributos estructurales del arbolado.

RESUMEN

Producción de hojarasca y estructura forestal en un manglar tipo ribereño del Pacífico Sur, México. Introducción: Los manglares son bosques tropicales y subtropicales altamente productivos que crecen en zonas intermareales y sostienen recursos naturales con beneficios tangibles a las poblaciones costeras. **Objetivo:** En la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas se realizó, en un manglar ribereño, un análisis de la variación espacio-temporal de su productividad (caída de hojarasca), y se estudió la influencia de la distancia de los cuerpos de agua en su estructura forestal, y el patrón de los atributos estructurales con la cantidad de hojarasca producida. **Método:** Se utilizó un diseño factorial 3x2x2, con la distancia al estero y un canal natural como factores hidrológicos locales, y la estacionalidad como un tercer factor; para encontrar diferencias en área basal y densidad con respecto a la distancia a los cuerpos de agua se utilizó un Análisis de varianza de una vía; la caída de hojarasca se analizó por especie, con valores por día, mes y año, para reconocer patrones de los atributos estructurales y la cantidad de hoja producida, se realizó un Análisis de Componente Principales, los procesos estadísticos se realizaron en el programa R v. 4.0.4. **Resultados:** Entre los principales resultados se registró que *Rhizophora mangle* es dominante con atributos estructurales superiores (18.16±3.90 $m^2.ha^{-1}$ área basal, 1550 árboles.ha^{-1} densidad, 13.94±0.42 cm DAP, 18.96±0.56 m altura y 17.38±7.05 m^2 cobertura arbórea), a los obtenidos por *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. *R. mangle* y *A. germinans* presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), en área basal y densidad con relación al canal natural, no así con respecto al estero ($P \geq 0.05$), mientras que *L. racemosa* no mostró diferencias significativas ($P \geq 0.05$), en ambas distancias; la productividad fue de 1100.6 $g.m^2.año^{-1}$, siendo ligeramente menor en lluvias, y en *R. mangle* se notó un patrón con los atributos estructurales y la cantidad de hoja producida. **Conclusiones:** Los resultados indican un bosque de mangle altamente productivo y estructuralmente complejo, se sugiere que en esta alta productividad influye como un factor local la red hidrológica, y otros factores (climáticos, atmosféricos, edáficos, geomorfológicos y el uso de áreas distintas del manglar). Estudios de productividad y su relación con el ambiente son necesarios en la generación de conocimientos para la conservación de estos humedales.

Palabras clave: Humedales, fisonomía, hidrología, temporalidad, ambiente.

REFERENCIAS

Adame, M.F., Zaldivar, J.A., Teutli, C., Caamal, J.P., Andueza, M.T., López, A.H., Cano, R., Hernández, A.H., Torres, L.R., Herrera, S.A. 2013. Drivers of mangrove litterfall within a Karstic Region affected by frequent hurricanes. *Biotropica, 45*(2), 147-154.

Adame, M.F., Santini N.S., Tovilla, H.C., Vázquez, L.A. Castro, L. Guevara, M. (2015). Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Wetlands Biogeosciences*, (12), 3805-3818.

Agraz, H.C.M., García, Z.C., Iriarte, V.S., Flores, V.F.J., Moreno, C.P. (2011). Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of México. *Wetlands Ecolgy Management*, (19), 273–293.

Agraz, H.C.M, Chan, K.C.A, Iriarte, V.S., Posada, V.G., Vega, S.B., Osti, S.J. (2015). Phenological variation of *Rhizophora mangle*, and groud water chemistry associated to changues of the precipitation. *Hidrobiológica, 25*(1), 49-61.

Alongi, D.M.(2009). *The Energetics of Mangrove Forests*. Spinger.

Ball, M.C. (1980). Patterns of secondary succession in a mangrove forest of Southern Florida. *Oecologia*, (44), 226-235.

Bechtold, W.A., Mielke, M.E., Zarnoch, S.J. (2002). Comparison of field methods and models to estimate mean crown diameter. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19 (4), 177-182.

Birdsey, R.G., Ángeles, P.A., Kurz, W.A., Lister, A., Olguin, M., Pan, Y. W.C., Wilson, B. J.K. (2013). Approaches to monitoring changes in carbon stocks for REDD+. *Carbon Management, 4*(5), 519-537.

Blanco, J.F., Bejarano, A.C., Lasso, J., Cantera, J.R. 2001. A new look at computation of the complexity index in mangroces: do disturbed forests have clues to analyze canopy height patchiness? *Wetlands, Ecology and Management 9*: 91-101.

Christensen, B. (1978). Biomass and primary production of *Rhizophora apiculata* BL. In a mangrove in southern Thailand. *Aquatic Botany*, *4*(1978), 43-52.

Clough, B.F. (1992). Primary productivity and growth of mangrove forests. En A.I. Robertson y D.M. Alongi (Eds.), *Tropical mangrove ecosystem, Coastal and Estuarine Studies* (pp. 225-250). Australian Institute of Marine Science and American Geophysical Union.

Comisión Nacional Forestal (2009). *Manual y Procedimientos para el muestreo de campo (Re-muestreo 2009)*. Comisión Nacional Forestal.

Contreras, F. y Castañeda L. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. *Ciencias*, (76), 46-56.

Contreras, F. y Warner, B.G. (2004). Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, (511), 233–245.

Corella, J.F., Valdez, H.J.I., Cetina, A.V.M., González, C.F.V., Trinidad, S.A., Aguirre, R.J.R. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noroeste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México, 26*(90), 74-102.

Day Jr, J.W., Coronado, M.C., Vera, H.F.R., Twilley, R., Rivera M.V.H., Alvarez, G.H., Day, R., Conner, W. (1996). A 7 year record of above-ground net primary production in a Southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany, 55,* 36-90.

Díaz, R.S., Cano, Q.E., Aguirre, L.A., Ortega, B.R. (2004). Diversidad, abundancia y conjuntos ictiofaunísticos del Sistema lagunar-estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Biología Tropical*, *52*(1), 187-199.

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

García, E. (1998). "Climas" (clasificación de Koppen, modificado por García) Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad.

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Serie de Libros No. 6). Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México.

Gómez, O.R., De la Lanza, E.G., Tovilla, H.C., Barba M.E. Valle, M.J., Castañeda, L.O., Ramos, S.E. (2017). Cambios ambientales y tróficos a través de un análisis a largo plazo del sistema lagunar Chantuto-Panzcola, Chiapas, México. *Revista Ciencias Marinas y Costeras, 9*(2), 75-100.

Hollinger, D. (2008). Defining a Landscape-Scale Monitoring Tier for the North American Carbon Program. En: C.M. Hoover (Ed.), *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring* (pp. 16). Springer.

Infante Mata, D. y Moreno Cassasola, P. (2009). Biomasa y productividad vegetal. En P. Moreno Cassasola y B. Warner (Eds.), *Breviario para describir observar y manejar humedales* (pp. 253-263). RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONAP, US Fish and Wildlife Service, US State Department.

Infante, M.D., Moreno, C.P., Maero, V.C. (2012). Litterfall of tropical forested wetlands of Veracruz in the coastal floodplains of the Gulf of Mexico. *Aquatic Botany, 98*(2012), 1-11.

Instituto Nacional de Ecología. (1999). *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada*. Instituto Nacional de Ecología/Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.

Kamruzzaman M.D., Sahadey, S., Rafiqul H.A.T.M. Akio H. (2012). Litterfall of three subtropical mangrove species in the family Rhizophoraceae. *Journal Oceoanography*, (68), 841-850.

Kauffman, J.B., Donato, D.C., Adame, M.F. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Bogor, Indonesia, Documento de Trabajo 117, DCIFOR.

Leach, G.J. y Burgin, S. (1985). Litter production and seasonality of mangroves in Papua New Guinea. *Aquatic Botany*, *23*(1985), 215-224.

López, P.J. y Ezcurra E. (1985). Litter fall *Avicennia germinans* L. in a one-year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacan Tabasco. *Biotropica, 17*(3), 186-190.

Lugo, A.E. y Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, (5), 39-64.

Lugo, A.E. (1980). Mangrove Ecosystems: Successional or Steady State? *Biotropica*, *12*(2), 65-72.

Lugo, A.E., Brow, S., Brinson, M.M. (1998). Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. *Limnology Oceanography*, *33*(4, par.2), 894-909.

Mitra, A. (2013). *Sensitivity of mangrove ecosystem to changing climate*. Springer.

Oliveira, S.T., Rodrigues, H.F.S., Sobral de Menezes, L.C., Santana de Andrade, K.V., Neponuceno de Araújo, F.R. (2019). Literfall production in mangrove forests of the Sao Francisco River estuary, Sergipe State, Brazil. *Floresta*, *49*(4), 813-820.

Osland, M.J., Feher L.C., Griffith, K.T., Cavanaugh, K.C., Enwright, N.M., Day, R.H., Stagg, C.L., Krauss, K.W., Howard, R.J., Grace, J.B., Rogers, K. (2016). Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests. *Ecological monographs 87*(2), 341-359.

Pool, D.J., Snedaker, S.C., Lugo, A.E. (1977). Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. *Biotropica, 9*(3), 195-2012.

Quadros, A.F., Nordhaus, I., Reuter, H., Zimmer, M. (2019). Modelling of mangrove annual leaf litterfall with emphasis on the role of vegetation structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 218*:(2019), 292-299.

R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. Foundation for Statistical Computing.

Rincón, P.M., Infante, M.D., Moreno, C.P., Hernández A.M.E., Barba M.E., García, A.J.R. (2020). Patrones de distribución y estructura de la vegetación en el gradiente de humedales costeros El Castaño, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical, 68*(1), 242-249.

Rodríguez, Z.M., Villeda, C.H.E, Vázquez, L.A., Bejarano, M., Cruz, L.M., Olguín, M., Villela, G.S., Flores, R. (2018). *Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

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

Selvas Villafuerte W.I. (2017). *Dinámica del Carbono y Nitrógeno en suelos de manglar de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas* [Tesis de Maestría].

Thom, B.G. (1967). Mangrove ecology and Deltaic Geormorphology. *Journal of Ecology, 55(*2), 301-343.

Torres, V.J.R., Infante, M.D., J. Sánchez, A., Espinoza, T.A., Barba, M.E. (2017). Atributos estructurales, productividad (hojarasca) y fenología del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical, 65*(4), 1592-1608.

Tovilla, H.C. (1998). *Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoanapa, Guerrero, México* [Tesis de Doctorado].

Tovilla, H.C. (2006). *Propuesta para la conservación, manejo y restauración en los bosques de manglar de la costa de Chiapas*. Consejo de Ciencia y Tecnología de Chiapas, El Colegio de la Frontera Sur.

Tovilla, H.C. y Romero, B.E.I. (2012). Diagnostico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca. En A. Sánchez, X. Chiappa, R. Brito (Eds.), *Recursos acuáticos costeros del sureste* (Vol. 1, pp.257-279). Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del estado de Yucatán, Red para el conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tovilla, H.C. y Orihuela, B.E. (2013). Ecología de los humedales del litoral del Estado. En Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad y Gobierno del Estado de Chiapas (Eds.), *La Biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado* (Vol. II, pp. 62-70). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Tovilla, H.C., Salas, R.R.L., Villatoro, A.E.M., Velázquez, P.C., Gutiérrez, H.M.E., López, F.P., De la Presa, P.J., Lan, R.A., Arreola, H.E., Peregrino R. 2018. Informe Final Proyecto: 23071 Establish a new intensive carbon monitoring site in la Encrucijada, Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, USDA.

Twilley, R.R., Snedaker, S.C., Yañez, A.A., Medina, E. (1996). Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Estuaries: Perspectives of Mangrove Ecosystem. En A. Mooney, H. Cushman, E. Medina E., Sala y D. Schulze (Eds.), *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective* (pp. 328-370). John Wyley & Sons Ltd.

Twilley, R.R. y Day Jr. J.W. (1999). The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems. En A. Yañez Arancibia y A.L. Lara Dominguez (Eds.), *Ecosistemas de manglar en América Tropical* (pp. 127-151). Instituto de Ecología A.C., UICN/ORMA, NOAA/NMFS Silver Spring MD.

Valdez, H.J.I. (2002). Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. *Madera y bosques Número especial*, (2002),129-145.

Velázquez, P.C., Tovilla, H.C., Romero, B.I.E., Navarrete J. (2019). Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Madera y Bosques*, *25*(3), 1-14.

Wafar, S., Untawale A.G., Wafar. M. (1997). Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, (44), 111-124.

Woodroffe, C.D., Bardsley, K.N., Ward, P.J. Hanley, J.R. (1988). Production of mangrove litter in a macrotidal embayment, Darwin Harbour N.T., Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, (26), 581-598.

Yañez-Arancibia, A., y Lara-Domínguez, A.L. (1999), Los manglares de América Latina en la encrucijada. En A. Yañez-Arancibia y A.L. Lara-Domínguez (Eds.), *Ecosistemas de manglar en América Tropical* (pp.9-16). Instituto de Ecología A.C., UICN/ROMA, NOAA/NMFS Silver Spring MD.

Zaldivar, J.A., Herrera, S.J., Coronado, M.C., Alonzo, P.D. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques*, (2): 25-35.

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES

El bosque de mangle ribereño estudiado, es un bosque con una alta productividad (caída de hojarasca) y estructuralmente complejo, en donde la distancia a dos cuerpos de agua (estero y canal natural), así como la introducción de agua dulce y salobre, son factores hidrológicos locales que pueden influir en cambios estructurales en el bosque y en la variabilidad estacionalidad de caída de hojarasca, estas condiciones propician que sea *R. mangle* la especie que domine sobre *A. germinans* y *L. racemosa*, causando que incrementos en la complejidad de la estructura forestal para *A. germinans* sobre *R. mangle* se presenten a una mayor distancia del canal natural, mientras que en *L. racemosa* no se obtuvieron diferencias en su estructura forestal con respecto a los cuerpos de agua; a su vez, se observó que en *R. mangle* se tuvo un patrón de los atributos estructurales y cantidad de hojas producidas en un año, el cual no se observó para *A. germinans* y *L. racemosa*, probablemente a causa de las condiciones no propicias en el ambiente como la hidrología local que influye en la salinidad y otros factores ambientales. Se espera que los valores obtenidos en productividad (caída de hojarasca) y estructura forestal sean parte de nuevos conocimientos que contribuyan a la conservación de los humedales de la Reserva de la Biosfera la Encrucijada, dado que la fisonomía predominante en esta reserva son los bosques tipo ribereño.

RECOMENDACIONES

Los bosques de mangle en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada son humedales que constituyen el hábitat para la diversidad de flora y fauna, además proveen de servicios ambientales a las comunidades costeras y los productos obtenidos de las lagunas, como la pesca son llevados hacia otras localidades del interior. De esta manera, estudios locales y regionales realizados, como inventarios de monitoreo intensivo de carbono y de biodiversidad, han provisto de conocimiento sobre la importancia de contemplar nuevas estrategias que contribuyan a un manejo integral con la participación de las comunidades locales en coordinación con instituciones académicas y tomadores de decisiones como la CONANP, institución encargada de promover y ejecutar políticas encausadas a la conservación, manejo y restauración de estos humedales. El presente estudio puede apoyar la toma de decisiones y estrategias que fortalezcan un programa de manejo integral de la reserva, dado las presiones antrópicas y naturales que hoy enfrenta por distintas causas como el cambio climático global.

Literatura Citada

Alongi DM. 2009. The energetics of mangrove forests. Australia: Springer Science + Business Media B.V.

Brenner L. 2018. Los impactos ambientales de las políticas públicas en los manglares de Chiapas, México. Gestión y Política Pública XXVII (1): 237-267.

[CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. Mapa del Uso del Suelo y Vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Pacífico Sur (2015), escala 1: 50,000 edición: 1. Ciudad de México: Sistema de Monitoreo de los manglares de México.

Cornejo X. 2013. Lectotypification and a New Status for *Rhizophora X Harrisonii* (Rhizophoraceae), a Natural Hybrid Between *R. Mangle* and *R. racemosa*. Harvard Papers in Botany 18(1):37.

Ellison AM. 2002. Macroecology of mangroves: large-scale patterns and processes in tropical coastal forests. Trees 16:181-194.

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2007. The world's mangroves 1980-2005. Roma.

Infante MD y Moreno CP. 2009. Biomasa y productividad vegetal. En: Patricia M, Cassasola B y Barry Warner, G. eds. Breviario para describir observar y manejar humedales Veracruz. México: RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONAP, US Fish and Wildlife Service, US State Department, p.253-263.

[INE] Instituto Nacional de Ecología. 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ecología/Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.

Kauffman JB, Donato DC, Adame MF. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Bogor, Indonesia: Documento de Trabajo 117, DCIFOR.

Lugo AE, y Snedaker SC. 1974. The ecology of mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics 5:39-64.

Mateucci SD., Colma A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Venezuela: serie de biología Monografía 22, Secretaría General de la organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y tecnológico.

Mitra A. 2013. Sensitivity of mangrove ecosystem to changing climate. India: Springer.

Osland MJ., Feher LC., Griffith, KT., Cavanaugh KC., Enwright NM., Day RH., Stagg CL., Krauss KW., Howard RJ., Grace JB., Rogers K. 2016. Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests. Ecological monographs 87(2): 341-359.

Pool DJ, Snedaker SC, Lugo AE. 1977. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. Biotropica *9*(3):195-212.

Rico-Gray V. 1981. *Rhizophora harrisonii* (Rhizophoraceae), un nuevo registro para las costas de México. México: Boletín de la Sociedad Botánica de México 41:163-165.

Rodríguez ZM., Villeda CHE., Vázquez LA., Bejarano M., Cruz LM., Olguín M., Villela GS., Flores R. 2018. Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Santamaría DS, Romero BEI, Tovilla HC, Gallegos MME. 2019. Registros recientes de Avicennia bicolor (Acanthaceae) en la costa del Pacífico mexicano con notas sobre su distribución y estado de conservación. Hidrobiológica 29(3): 197-202.

Terradas J. 2001. Ecología de la vegetación de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. España: Omega S.A.

Tovilla HC. 2006. Propuesta para la conservación, manejo y restauración en los bosques de manglar de la costa de Chiapas. Tapachula, México: Consejo de Ciencia y Tecnología de Chiapas, Laboratorio de Ecología de los manglares y zona costera, El Colegio de la Frontera Sur.

Tovilla HC., Romero BEI. 2012. Diagnostico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca. En: Alberto J, Sánchez, Xavier Ch, Carrera, Roberto B, Pérez. eds. México: Recursos acuáticos costeros del sureste Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del estado de Yucatán, Red para el conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 257-279.

Valiela I, Bowen JL, York JK. 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. BioScience, 51(10):807-815.

Velázquez SS., Valderrama LLH., Rodríguez ZMT, Cruz LMI. 2019. Anthropization in the coastal zone associated with Mexican mangroves (2005–2015). Environ Monit Assess (2019) 191-521.