



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LOS COMPONENTES DE LA
MATERIA ORGÁNICA EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR EN
PARAÍSO, TABASCO**

EDITH DE LOS ÁNGELES CASTILLO ARIAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2021



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Edith de los Ángeles Castillo Arias**, alumna de esta institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. José Jesús Obrador Olán**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **influencia de la vegetación en los componentes de la materia orgánica en los ecosistemas de manglar en Paraíso, Tabasco.**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la institución, el Consejero de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta institución.

H. Cárdenas, Tabasco, 21 de abril de 2021.

Edith de los Ángeles Castillo Arias

Firma

José Jesús Obrador Olán

Firma

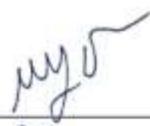
La presente tesis, titulada: “**INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LOS COMPONENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR EN PARAÍSO, TABASCO**”, realizada por la alumna: **Edith de los Ángeles Castillo Arias**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

POSGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____



DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESORA: _____



DRA. EUSTOLIA GARCÍA LÓPEZ

ASESOR: _____



DR. DAVID JESÚS PALMA LÓPEZ

ASESOR: _____



DR. MIGUEL ALBERTO MAGAÑA ALEJANDRO

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO. A 21 DE ABRIL DE 2021

La presente tesis titulada: “**Influencia de la vegetación en los componentes de la materia orgánica en dos ecosistemas de manglar en Paraíso, Tabasco**”, fue dirigida por el Dr. José Jesús Obrador Olán, Profesor Investigador Titular del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Este estudio fue financiado con cargo a las cuentas 40018 y 40019, apoyo para investigación científica que el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, asignó a profesores y estudiantes en los años 2017 y 2018.

“INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LOS COMPONENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR EN PARAÍSO, TABASCO”

Edith de los Ángeles Castillo Arias, MC

Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, 2021

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue caracterizar y analizar la influencia de la vegetación en los componentes de la materia orgánica en dos ecosistemas maduros de mangle negro y rojo en la zona costera de Paraíso, Tabasco, México. La caracterización regional de estos ecosistemas permite conocer el flujo de nutrientes para planificar estrategias de protección y conservación de estos humedales. En una parcela de 40x20 m² para mangle rojo y de 30x30 m² para mangle negro, se abrieron calicatas para la descripción de los suelos, tomándose además muestras de suelo a 0-60 cm de profundidad en dos temporadas, seca y lluvias a las que se determinaron los contenidos de MO, COS, Nt, P Olsen, pH, bases intercambiables, ácidos húmicos y fúlvicos y CIC, con la finalidad de caracterizar la dinámica de nutrientes en las dos temporadas. Los resultados indicaron que el ecosistema de mangle rojo presentó valores más altos que el mangle negro en parámetros relacionados con la fertilidad del suelo, así como de componentes de la MO, mayormente en temporada de lluvias. El muestreo de la vegetación se realizó en cuatro transectos en cada ecosistema, donde se registró el DAP, altura y porcentaje de cobertura vegetal de los árboles presentes, éstos fueron ubicados en siete clases diamétricas; la densidad fue mayor en el ecosistema de mangle negro, pero su distribución se concentró en la primera clase, 2.5-4.9 cm, con una tendencia a disminuir hacia las últimas; la densidad en el mangle rojo fue menor, pero su distribución diamétrica fue más homogénea y más alta en la última clase, de <20 cm, reflejando la presencia de árboles de mayor talla y una adecuada incorporación de individuos jóvenes. Lo anterior indica que el tipo de mangle dominante en el ecosistema influye en los contenidos nutricionales del suelo, sugiriendo que cumplen funciones específicas para la dinámica de los ecosistemas.

Palabras claves: Humedales; ecosistemas costeros; materia orgánica; flujo de nutrientes; carbono orgánico soluble.

“INFLUENCE OF VEGETATION ON THE COMPONENTS OF ORGANIC MATTER IN THE MANGROVE ECOSYSTEMS IN PARAISO, TABASCO”.

Edith de los Ángeles Castillo Arias, MC

Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, 2020

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize and analyze the influence of vegetation on the components of organic matter in two mature ecosystems of black and red mangrove in the coastal zone of Paraíso, Tabasco, Mexico. The regional characterization of these ecosystems allows knowing the flow of nutrients to plan strategies for the protection and conservation of these wetlands. In a plot of 40x20 m² for red and 30x30 m² for black mangrove, pits were opened for the description of the soils, also taking soil samples at 0-60 cm depth in two seasons, dry and rainy, which were determined contents of MO, COS, Nt, P Olsen, pH, exchangeable bases, humic and fulvic acids and CEC, in order to characterize the dynamics of nutrients in the two seasons. The results indicated that the ecosystem of red mangrove presented higher values than the black mangrove in parameters related to soil fertility as well as OM components, mostly in the rainy season. The vegetation sampling was carried out in four transects in each ecosystem, where the DBH, height and percentage of vegetation cover of the trees present were recorded, these were located in seven diameter classes; the density was higher in the black mangrove ecosystem, but its distribution was concentrated in the first class, 2.5-4.9 cm, with a tendency to decrease towards the latter; the density in the red mangrove was lower, but its diameter distribution was more homogeneous and higher in the last class, <20 cm, reflecting the presence of larger trees and an adequate incorporation of young individuals. The above indicates that the dominant mangrove type in the ecosystem influences the nutritional contents of the soil, suggesting that they fulfill specific functions for the dynamics of the ecosystems.

Keywords: Wetlands; coastal ecosystems; organic matter; nutrients flux; soil organic carbon.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Tabasco por haberme permitido realizar la Maestría en Producción Agroalimentaria en el Trópico.

A la Dr. José Jesús Obrador Olán, Profesor Investigador Titular del Campus Tabasco, por todo su apoyo, quien merece todos mis respetos ya que, durante la realización de mi proyecto, quien me ha guiado en el complicado proceso. Es cierto, no ha sido nada fácil, ni mucho menos, sin embargo, gracias a su ayuda, esto ha parecido un tanto menos complicado.

A la Dra. Eustolia García López, por todo su apoyo, palabras de aliento, consejos, y por haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia y sabiduría ha sabido direccionar mis conocimientos; sobre todo por la amistad brindada.

Al Dr. David Jesús Palma López, por el apoyo, palabras de aliento, consejos, paciencia y amistad brindada; por confiar en mí para realizar este proyecto, por haber sido muy paciente y haber sido esa persona que con sus directrices pudo explicarme aquellos detalles para culminar mi tesis. Gracias por sus enseñanzas.

Al Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro, por la confianza que depositó en mí, su constante apoyo, sus indicaciones y orientaciones indispensables en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a mis dos grandes amigos Mariana Valier Mago y Gerardo Hernández Sánchez, quienes formaron parte de este gran proyecto, gracias por estar y ser parte de cada una de las anécdotas suscitadas en cada salida a campo, agradezco todo su apoyo y palabras de aliento cada día, y sobre todo gracias por la amistad.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vivir esta maravillosa experiencia en mi vida, y bendecirme con grandes personas a mi paso, así como bendecirme cada día para lograr mis metas.

A mis padres; Sra. Juliana Arias Alejandro y Sr. José Antonio Castillo Ricardez, por siempre darme su apoyo incondicional, por estar para mí a cada momento y siempre tener unas palabras de aliento en momentos difíciles, por nunca abandonarme y siempre animarme a seguir, por enseñarme a valorar cada oportunidad en esta vida, pero sobre todo por darme lo mejor para llegar y cumplir mis metas y siempre creer en mí, los amo con toda mi alma.

A dos grandes personas Sr. David Jesús Palma López y Sra. Judith Argelia Cancino Laureano, quienes me han dado todo el amor y cariño como una hija más, por siempre levantarme y brindarme todo su apoyo y sobre todo por siempre animarme en cada paso de mi vida, los quiero mucho.

Y finalmente, a David Julián Palma Cancino, uno de mis pilares y motivación más grande, por su entrega, sus ánimos, sus consejos, por siempre estar para mí en las buenas y las malas, por soportar mis desvelos y mis malos ratos, por todo su amor y cariño, pero sobre todo por siempre creer en mí, te amo.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE CUADROS | 10 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 11 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 12 |
| CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA | 15 |
| 2.1. Definición e importancia del bosque de manglar | 15 |
| 2.2. Tipos de manglar | 18 |
| 2.3. El suelo del manglar | 19 |
| 2.3.1. Histosoles | 19 |
| 2.3.2. Gleysoles | 20 |
| 2.3.3. Solonchaks..... | 20 |
| 2.4. Taxonomía y características del mangle negro y rojo | 21 |
| 2.4.1. Mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) | 21 |
| 2.4.2. Mangle negro (<i>Avicennia germinans</i> L.)..... | 23 |
| 2.5. Definición de materia orgánica..... | 24 |
| 2.5.1. Composición de la materia orgánica. | 25 |
| 2.5.2. Importancia de la materia orgánica | 25 |
| 2.5.3. Materia orgánica en los manglares | 26 |
| CAPÍTULO III. OBJETIVOS | 30 |
| 3.1. Objetivo general..... | 30 |
| 3.2. Objetivo específicos..... | 30 |
| CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS | 31 |
| 4.1. Caracterización taxonómica del suelo de dos ecosistemas maduros de mangle rojo y negro | 32 |
| 4.2. Diagnóstico nutrimental de los suelos de ecosistemas maduros de mangle rojo y negro | 33 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Estimación de los componentes de la MO (carbono orgánico y soluble, ácidos húmicos y fúlvicos) en ecosistemas maduros de mangle rojo y negro | 34 |
| 4.4. Caracterizar la vegetación de los ecosistemas de mangle rojo y negro | 35 |
| CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 37 |
| 4.1. Caracterización taxonómica de los suelos | 37 |
| 4.2. Diagnóstico nutrimental de los suelos de ecosistemas maduros de mangle rojo y negro | 38 |
| 4.3. Comportamiento de los componentes de la MO (carbono orgánico y soluble, ácidos húmicos y fúlvicos) en ecosistemas maduros de mangle rojo y negro | 44 |
| CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES | 51 |
| CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA | 52 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1: Métodos utilizados para análisis nutrimental en los suelos asociados a los ecosistemas de mangle..... | 33 |
| Cuadro 2: Propiedades químicas promedio de los suelos de los ecosistemas mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>). Promedios de. MO= materia orgánica; N (Kjeldahl); P (olsen); K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; CIC= Capacidad de intercambio catonico; AF= ácidos fúlvicos; AH= ácidos húmicos; COS= Carbono orgánico soluble..... | 39 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Manglares de la Laguna Tilapa en Paraíso, Tabasco..... | 12 |
| Figura 2: Bosque de manglar ribereño | 18 |
| Figura 3: Bosque de manglar de borde o islote..... | 18 |
| Figura 4: Bosque de manglar de cuenca..... | 18 |
| Figura 5: Mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>)..... | 21 |
| Figura 6: Mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) | 23 |
| Figura 7: Esquema de importancia de la materia orgánica | 26 |
| Figura 8: Proceso de investigación..... | 32 |
| Figura 9: Perfil de suelo en mangle negro clasificado como Protosodic Stagnic Gleyic Solonchak (Clayic, Humic) | 37 |
| Figura 10: Perfil de suelo en mangle rojo clasificado como Gleyic Solonchak (Clayic, Histic Humic Hypersalic)..... | 38 |
| Figura 11: Comportamiento del pH en el agroecosistema de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y negro (<i>Avicennia germinans</i>) en dos épocas del año..... | 40 |
| Figura 12: Comportamiento de la CIC en el agroecosistema de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y negro (<i>Avicennia germinans</i>) en dos épocas del año..... | 41 |
| Figura 13: Comportamiento del K y Mg en el agroecosistema de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y negro (<i>Avicennia germinans</i>) en dos épocas del año..... | 41 |
| Figura 14: Comportamiento del N total en el agroecosistema de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y negro (<i>Avicennia germinans</i>) en dos épocas del año..... | 42 |
| Figura 15: Comportamiento del fosforo en el agroecosistema mangle negro y mangle rojo en dos épocas del año. | 44 |
| Figura 16: Análisis estadístico de MO y componentes del suelo los ecosistema de <i>Avicennia germinans</i> (mangle negro) y <i>Rhizophora mangle</i> (mangle rojo). | 46 |
| Figura 17: Distribución de árboles por clase diamétricas en dos ecosistemas maduros de mangle: a) mangle negro y b) mangle rojo en Paraíso, Tabasco..... | 48 |
| Figura 18: Altura de los árboles en las comunidades de mangle estudiadas. | 49 |

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los manglares constituyen un importante ecosistema del territorio nacional; son humedales costeros que ocupan un lugar privilegiado por su riqueza natural y los servicios ambientales que prestan; su importante papel ecológico ha sido reconocido internacionalmente (Figura 1). El atractivo de los manglares para las actividades humanas se sustenta en su alta productividad, así como en los numerosos servicios que proporcionan a las poblaciones locales: alimentos, materias primas, vías de transporte, entre otros (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

En los bosques de manglar de las costas mexicanas se encuentran, de manera abundante, cuatro especies: *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Avicennia germinans* L. (mangle negro o mangle prieto), *Laguncularia racemosa* (L.) (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* L. (mangle botoncillo), todas ellas ubicadas en la categoría de protección especial en la NOM-ECOL-059/2001 (SEMARNAT, 2002).



Figura 1: Manglares de la Laguna Tilapa en Paraíso, Tabasco

En Tabasco existen 41,498.5 ha de manglar distribuidas en la parte posterior del cordón litoral, bordeando las lagunas que se extienden paralelas a la costa y que tienen conexión con el mar; su presencia está condicionada a variaciones en la inundación y concentración de sales disueltas en agua. Los municipios que cuentan con mayor superficie de manglares son Paraíso, Cárdenas, Centla, Jalpa de Méndez y Comalcalco, donde se encuentran diversas poblaciones que han permanecido en estrecha relación con este ecosistema a través del manejo para su fomento y aprovechamiento de recursos, entre ellos destacan los ejidos El Golpe del municipio de Cárdenas; Gurría Ordóñez y La Solución Somos Todos, en Paraíso. Los ejidos La Victoria y Cuauhtémoc en Centla; Las Flores, Chiltepec y Jalapita en Paraíso; Úrsulo Galván en Jalpa de Méndez y Sánchez Magallanes en Cárdenas también han hecho uso de los recursos del manglar. Al menos 90 comunidades tabasqueñas presentan manglares; en todas ellas se encuentran las tres especies

principales (mangles rojo, negro y blanco), y algunas incluyen también al botoncillo, como el Ejido la Victoria en Centla (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2009).

Los humedales son considerados globalmente importantes por almacenar carbono, debido a la alta productividad de las plantas y a la baja descomposición de la materia orgánica que ocurren en sus suelos inundados. En las áreas protegidas se está conservando y manejando el ecosistema para mantener en buen estado la biodiversidad y los servicios ambientales, contribuyendo con ello al almacenamiento de carbono (Kauffman *et al.*, 2013).

Los manglares son ecosistemas costeros clave, pues proveen servicios ambientales y funciones ecológicas críticas para los recursos terrestres y marinos. Entre estos servicios están la protección de la costa frente a tormentas y tsunamis, la depuración de aguas, la provisión de recursos madereros, la biodiversidad y hábitat para varias especies en peligro de extinción y la provisión de zonas de reproducción y crianza para especies de importancia pesquera (Kauffman & Cole, 2010). Hasta un 75% de las especies tropicales de importancia pesquera tienen parte de su ciclo de vida en los ecosistemas de manglar, ya que éstos son sitios activos de intercambio de materiales (nutrientes y carbono) con ecosistemas adyacentes, como pastos marinos y arrecifes de coral; además de tener gran importancia por su estética, lo que los hace valiosos para el ecoturismo. Durante siglos, los pueblos indígenas han usado los manglares para obtener madera, medicinas, colorantes, peces y moluscos, además de representar una de las reservas más grandes de carbono de los trópicos (Kauffman *et al.*, 2013).

Probablemente el servicio ambiental más importante de los manglares es su papel como una de las más grandes reservas de carbono que se ha reportado en los bosques. Un ejemplo de ello lo constituyen las reservas de carbono de los manglares asociados a los petenes en la Península de Yucatán, las cuales representan más del doble de las reservas en bosques y selvas tropicales de México. Una gran proporción de esta reserva se localiza en el subsuelo, ya que los manglares poseen suelos ricos en materia orgánica; por ello, si los suelos de los manglares son perturbados, pueden liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero (Kauffman & Cole, 2010).

Las sustancias orgánicas o materia orgánica del suelo (MOS) se pueden agrupar en dos grandes fracciones (Darwich, 1998). La primera fracción está compuesta por MO de

naturaleza individual; formada a su vez por restos orgánicos y productos de su descomposición, así como los productos de la actividad vital de la población microbiana, los cuales pueden ser proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas y ligninas, entre otros. De acuerdo a Quiroga *et al.* (2012), todos estos compuestos terminan representando de 10 a 15% de la reserva total de MO.

La segunda fracción de la MO está compuesta por las sustancias húmicas propiamente dichas, constituidas a su vez por el complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo, que se extraen del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos. Esta fracción constituye la porción principal abarcando 85-95% de la reserva total de MO (Quiroga *et al.*, 2012). La posibilidad de una producción agrícola o forestal sustentable depende en gran parte del efecto producido sobre la materia orgánica total (MOT) y sus fracciones por los cultivos y prácticas de manejo de los mismos. Esta afirmación se basa en la estrecha relación que existe entre las fracciones de la materia orgánica y las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo.

Estudios recientes resaltan la importancia de medir el efecto del tipo de vegetación en los suelos de bosques subtropicales y su composición química, ya que existe un efecto directo en la composición de la MO en el suelo al perturbar el equilibrio de los bosques tropicales y subtropicales, esto vinculado al cambio climático (Guo *et al.*, 2016; Chandra *et al.*, 2016). Lo anterior justifica la necesidad de estudiar la composición química y de la MO en los suelos de los manglares del trópico mexicano.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición e importancia del bosque de manglar

El término “Mangle” deriva de un vocablo guaraní que significa árbol torcido (Agraz-Hernández *et al.*, 2006).

Los manglares corresponden a la vegetación arbórea de la zona de mareas que se ubica en el ecotono entre los ambientes marino y terrestre. Pueden crecer en sitios con diferentes concentraciones de salinidad, que van desde 0 ups (dulceacuícolas) o más de 40 hasta 90 ups (hipersalinas), alcanzando su máximo desarrollo en condiciones salobres (aproximadamente a 15 ups); las unidades ups equivalen a gramos de sal por litro de agua. Las especies de manglar poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten ocupar hábitats bajo condiciones especiales, tales como suelos que van desde limosos hasta arenosos, inestables y con baja concentración de oxígeno, en ambientes salinos y salobres. Así mismo, estas especies han desarrollado estrategias reproductivas como la viviparidad o criptoviviparidad (frutos que germinan en la planta madre y que forman propágulos e hipocotilos), un sistema de raíces verticales conocidas como neumatóforos que capturan oxígeno atmosférico, y de raíces de cable y de anclado que penetran hasta 60 cm y dan estabilidad y soporte al tronco. Tienen además glándulas en las hojas que les permiten secretar el exceso de sal y hojas gruesas, similares a las plantas de desierto, pero de mayor tamaño.

Las plantas de mangle son árboles y arbustos que han evolucionado para adaptarse a las condiciones de las zonas intermareales de las costas tropicales y subtropicales del planeta, para lo cual han desarrollado tolerancia a suelos anegados y de alta salinidad. La distribución, composición y fisionomía de las comunidades de manglar están influidas por los cambios latitudinales, la temperatura y la precipitación, pero localmente dependen de la geomorfología, el substrato, la salinidad y la inundación (López-Portillo y Ezcurra 2002).

En México hay cinco especies de manglar: el mangle rojo, el mangle negro, el mangle blanco, el mangle botoncillo, (Pennington y Sarukhán, 1969) y una especie de mangle rojo que sólo ha sido registrada en las costas de Chiapas (Rico-Gray, 1981). Hay también, en la Península

de Yucatán, una variedad de mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* var. *sericeus*) (Agráz-Hernández, et al., 2006).

Los manglares corresponden a la vegetación arbórea y arbustiva de la zona de mareas en las regiones tropicales y subtropicales. Son plantas halófilas facultativas que pueden crecer en diferentes salinidades, pero que alcanzan su máximo desarrollo en condiciones salobres. Los manglares son uno de los ecosistemas más importantes dentro de la biosfera por su alta productividad, que alcanza más de 25 toneladas de peso seco por hectárea cada año (Agráz-Hernández *et al.*, 2006).

Los bosques de manglar están relacionados funcionalmente con los ecosistemas lagunares estuarinos, proporcionan múltiples servicios, usos y funciones de valor para la sociedad, para la flora y la fauna silvestre, y para el mantenimiento de sistemas y procesos naturales. Sirven como medios naturales de control y barrera contra inundaciones e intrusión salina, control de la erosión, protección a la costa y filtro biológico (por remoción de nutrientes y toxinas). Son además el hábitat de especies de peces, crustáceos y moluscos de importancia ecológica y comercial. Constituyen zonas de refugio y alimentación de fauna silvestre amenazada y en peligro de extinción, y de especies endémicas y migratorias (Purnobasuki, 2013).

Son fuentes de energía (leña o turba), proporcionan materias para tinción de telas y curtido de pieles, así como desinfectantes y astringentes. Históricamente, los manglares se han utilizado como fuente de energía y materias primas (carbón, material de construcción, extracción de sal, taninos y otros tintes, e incluso alimento). Como ejemplo están los usos tradicionales en la Península de Yucatán: la corteza del mangle rojo se usa para curar elefantiasis, lepra, diarrea y disentería; y la infusión de hojas para curar el escorbuto, como enjuague bucal para el dolor de muelas y en aplicación local para tratar la úlcera leprosa. La infusión de hojas del mangle botoncillo se receta para curar el asma, el estado bilioso, el dolor de cabeza y evacuaciones amarillas; y la infusión de sus raíces se usa para tratar testículos inflamados y reumatismo (Purnobasuki, 2013).

Las áreas de manglar pueden también considerarse vías de comunicación y bancos genéticos; tienen un alto valor estético y recreativo, además de cultural y educativo. Mantienen procesos de acreción, sedimentación y formación de turba; son excelentes sistemas de absorción de bióxido de carbono (CO₂), mitigando el efecto del calentamiento global asociado al cambio climático por sus elevadas tasas fotosintéticas, además de ser una importante fuente de materia orgánica (detritus) (Agráz-Hernández et al., 2005).

Los manglares constituyen uno de los ecosistemas del territorio nacional; son humedales costeros que ocupan un lugar privilegiado por su riqueza natural y los servicios ambientales que prestan; su importante papel ecológico ha sido reconocido internacionalmente (CONABIO 2008). La atracción de los manglares para las actividades humanas se sustenta en su alta productividad, así como en los numerosos servicios que proporcionan a las poblaciones locales: alimentos, materias primas, vías de transporte, entre otros (Viñals 2002).

Su importancia ecológica reside en las funciones que desempeña en la estabilización y protección de las líneas costeras, proporcionando áreas de cría y alimentación de numerosas especies de peces y crustáceos, y hábitat para cangrejos y moluscos, así como lugares de anidamiento de aves costeras. Por otra parte, el manglar tiene un valor económico derivado de su papel como criadero de especies para la pesca, así como por la extracción de taninos de la corteza del mangle y la extracción de madera para diversos usos artesanales y comerciales (IPIECA 1993, Lewis 2005).

Los manglares son bosques de plantas leñosas tolerantes a la sal, que se caracterizan por su habilidad para crecer y prosperar a lo largo de litorales, están en contacto con cuerpos de agua de origen marino y agua dulce que llega a través de escorrentías o por desembocaduras de los ríos. Son ecosistemas naturales valiosos que enfrentan alteraciones severas, como la contaminación por descarga de aguas residuales y la sobreexplotación de productos derivados de dichos ecosistemas, que afectan su estructura, funcionamiento y existencia (Fulai 1997).

2.2. Tipos de manglar

El bosque de manglar, según su ubicación en las costas, puede ser: ribereño, de borde e islotes y de cuenca (Amador, 2019).

Bosque ribereño. Se desarrolla a lo largo de los márgenes de los ríos. La especie dominante en el área cercana al agua es el mangle rojo (*R. mangle*), tiene raíces en forma de zancos y un fruto más pesado que el de las otras especies. Hacia el interior se encuentran el mangle prieto (*A. germinans*) y el blanco (*L. racemosa*). Este bosque es muy productivo y sus árboles en el Caribe pueden alcanzar alturas de hasta veinte metros (figura 2).



Figura 2: Bosque de manglar ribereño

Bosque de borde e islotes. Se desarrolla a lo largo de las costas y sobre islotes. Están formados exclusivamente por mangle rojo, aunque en las partes más internas y estancadas es sustituido por mangle prieto y blanco. En general en los islotes las alturas de los árboles son menores (7 m) en relación con los bosques de borde (10 m) (figura 3).



Figura 3: Bosque de manglar de borde o islote

Bosque de cuenca: Se establece en las partes más profundas de la costa continental, detrás de riberas y bordes, donde la renovación del agua es mucho más lenta y hay falta de oxígeno. Predomina el mangle prieto (zona con mayor salinidad), provisto de neumatóforos que le permiten tomar el oxígeno atmosférico, y en menor medida el blanco (zonas con mayor aporte de agua dulce), con neumatóforos menos desarrollados (figura 4).



Figura 4: Bosque de manglar de cuenca

2.3. El suelo del manglar

Los suelos de costa tropical en donde se ubica el mangle blanco y negro generalmente permanecen en el agua por más de seis meses al año; se les ha clasificado, según la FAO (2014), como Histosoles, Gleysoles y Solonchaks. En general, estos suelos contienen una capa orgánica superficial con textura franco arcillosa y franco arenoso. De acuerdo con varios investigadores, los suelos en diferentes manglares del trópico húmedo en el mundo presentan las siguientes propiedades químicas: el pH puede ser ácido a neutro, oscilando entre 2.87 y 6.40 (Rambok *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2007; Moreno y Calderón, 2011), y alcalino, entre 7.4 y 8.22 (Hossain *et al.*, 2012; Das *et al.*, 2012). El potencial redox (Eh) presenta valores inferiores a 100 mV, lo que significa que los suelos son anaeróbicos. En algunos bosques los valores de salinidad son superiores a 30‰ (Sukardjo, 1994; Moreno y Calderón, 2011). A continuación, se describen las unidades de suelo que sustentan a los manglares:

2.3.1. Histosoles

Son suelos que han experimentado poco desarrollo de perfil debido al entorno anaeróbico en el que se forman. En ellos el principal proceso de formación del suelo evidente es la acumulación de materia orgánica madre parcialmente descompuesta sin permafrost, por ello están compuestos por una o más capas gruesas de materia orgánica. Generalmente, tienen materiales orgánicos del suelo en más de la mitad de los 80 cm superiores del suelo o en dos tercios del suelo que cubre la roca superficial (Brady and Weil, 2008).

Los depósitos orgánicos se acumulan en pantanos habitados por malezas de estanque, como juncias, juncos, musgos, arbustos e incluso algunos árboles (manglar). Generaciones tras generaciones, los residuos de estas plantas se hunden en el agua, lo que inhibe su oxidación al reducir la disponibilidad de oxígeno y, en consecuencia, actúa como un conservante parcial (Brady y Weil, 2008). La materia orgánica en un Histosol se ha clasificado según su descomposición, y puede ser fibrica, hémica y sáprica. Los materiales fibricos son tejido vegetal en los materiales orgánicos de suelo (excluyendo a las raíces vivas), que son lo suficientemente grandes para ser retenidos sobre un tamiz de malla-100 (apertura de 0.15 mm de diámetro) cuando son cribados. Muestran evidencias de la estructura celular de las plantas de las cuales se derivan, y miden 2 cm o menos en su dimensión más pequeña, o están

lo suficientemente descompuestos para ser molidos o desmenuzados con los dedos (Thibodeau and Nickerson, 1986).

Los materiales hémicos del suelo (Gr. *hemi*, medio) son intermedios en su grado de descomposición entre los materiales fibricos y los sápricos. Sus rasgos morfológicos dan valores intermedios para el contenido de fibras, densidad aparente y contenido de agua. Los materiales hémicos del suelo están parcialmente alterados, tanto física como bioquímicamente (Thibodeau and Nickerson, 1986).

Los materiales sápricos de suelo (Gr. *sapros*, podrido) son los de mayor grado de descomposición de las tres clases de materiales orgánicos de suelo. Tienen la cantidad más pequeña de fibras vegetales, la densidad aparente más alta y el menor contenido de agua a saturación en base a peso seco. Los materiales sápricos de suelos comúnmente son grises muy oscuros a negros. Son relativamente estables, es decir, cambian muy poco física y químicamente con el tiempo, en comparación con otros materiales orgánicos del suelo (Anónimo, 2020).

2.3.2. Gleysols

La palabra Gleysols deriva de la palabra rusa *gley* = masa de suelo fangoso; connotativa de un exceso de agua (Fitzpatrick, 1987), y se caracteriza principalmente por estar expuesto a períodos prolongados de saturación intermitente o continua con agua, causando condiciones reductoras durante su génesis. Los procesos de óxido reducción en el suelo se observan en colores amarillo, anaranjado y gris con manchas redoximórficas. La saturación de agua conduce al agotamiento del oxígeno en el suelo y provoca la transformación de metales como el hierro, aluminio y manganeso. Cuando hay oxígeno presente, el hierro se oxida y tiene un color rojizo, mientras que cuando el oxígeno se agota (debido a la saturación de agua) el hierro se reduce y adquiere un tono azul grisáceo y esto domina el color del horizonte.

El criterio diagnóstico para los Gleysols es la presencia de gley bien desarrollado dentro de los 50 cm de la superficie del suelo (Brady y Weil 2008).

2.3.3. Solonchaks

Solonchak es un término de origen ruso: *sol* = sal y *chak*, tierra salobre, y hay cuatro subdivisiones. Solonchaks órticos, nólicos, takiricos y gléyicos. Estos suelos se desarrollan

en ambientes áridos o semiáridos, en sitios planos, o en depresiones en donde, durante la estación seca el nivel freático por lo general está a menos de 3 m de la superficie (Fitzpatrick, 1987). La redistribución de carbonatos y yeso resulta ser un mecanismo importante para la diferenciación de horizontes en los suelos de las zonas de secas. Las sales solubles pueden acumularse a cierta profundidad o en áreas con un nivel freático cercano a la superficie del terreno (Ibáñez y Manríquez, 2013). Se trata de suelos cuya característica común es la elevada concentración de sales solubles a escasa profundidad (horizonte sálico). Estas sales suelen estar presentes en el material parental y la escasa precipitación, siempre superada por la evapotranspiración, no puede más que redistribuir las sales sin eliminarlas del perfil edáfico. Las sales provocan en las plantas un efecto osmótico y un efecto de toxicidad iónica específica que alteran la absorción hídrica, el balance nutricional y el energético. Habitualmente la sal más frecuente es la halita (sal común, NaCl) por lo que el ion dominante en la solución del suelo es el cloruro (Solonchak háplico, clorhídrico). La existencia de estos suelos, de complejo manejo agrícola, supone la génesis de paisajes peculiares con nula o escasa vegetación, pero muy especial (halófitos), sobre todo cuando la concentración de sales es muy elevada (Solonchak hipersálico) (WRB, 2015)

2.4. Taxonomía y características del mangle negro y rojo

2.4.1. Mangle rojo (*Rhizophora mangle*)

Es uno de los miembros más prominentes de un grupo de árboles y arbustos perennes que colonizan costas tropicales y subtropicales, formando bosques intermareales y matorrales (figura 5). Estos árboles y arbustos en particular son generalmente conocidos como manglares, y este ecosistema único, adaptado para hacer frente a suelos fangosos y acuosos de diversa salinidad, se



Figura 5: Mangle rojo (*Rhizophora mangle*)

llama "manglar". En su área de distribución natural, desde África Occidental hasta la costa

del Pacífico de América tropical, los manglares rojos a menudo crecen junto a manglares blancos (*Laguncularia racemosa*), manglares negros (*Avicennia germinans*) y, en lugares más terrestres, de agua salobre (*Conocarpus erectus*) (POWO, 2021).

Su característica más destacada es la presencia de raíces aéreas zancas que surgen del tronco principal a 2.0-4.5 m de alto, las cuales sirven de anclaje y estabilizan la planta en las zonas intermareales, además de jugar un importante papel en el intercambio gaseoso. Numerosas lenticelas ubicadas en la superficie de las raíces se conectan a tejidos internos esponjosos, que pueden contener grandes volúmenes de aire. Cuando son cubiertas por las mareas, las lenticelas se cierran, la planta utiliza oxígeno y el dióxido de carbono es absorbido por el agua de mar, lo que resulta en una menor presión dentro del sistema radicular. Cuando baja la marea y las lenticelas se vuelven a abrir, las raíces succionan aire para reponer rápidamente los suministros vitales de oxígeno (POWO, 2021).

Estas plantas pueden ser pioneras o especies maduras. Las plántulas del mangle rojo tienen un establecimiento exitoso, lo que les permite colonizar los claros que se encuentran en los manglares. El mangle rojo es una especie oligotrofia, pues se adapta a condiciones con bajos niveles de nutrientes en el sustrato.

El tronco de esta especie es recto y sus ramas se apoyan en numerosas raíces aéreas adventicias. A veces son simples o ramificadas dicotómicamente; además muestra muchas lenticelas. La corteza externa es de color oliva pálido y tiene manchas grises, con la particularidad que si esta corteza se raspa cambia a color rojo. Asimismo, la corteza es inodora, amarga, de textura lisa-rugosa, aspecto duro, con bastantes fibras y se desprende con mucha facilidad en escamas. La corteza interna es de color rojo intenso con aspecto granuloso por la presencia de fibras y esclereidas. Esta corteza presenta lenticelas hipertrofiadas en el área sumergida de raíces y tallos. El espesor de la corteza es de unos 20 a 30 mm.

La flor del mangle rojo se agrupa en inflorescencias simples de dos o tres flores, con pedúnculos entre 3 y 5 cm. Las flores son actinomorfas y la corola mide unos 1.8 cm de diámetro. El cáliz mide 1.5 cm de diámetro, tiene cuatro sépalos amarillos gruesos y coriáceos de unos 4.1 mm de ancho. La corola muestra 4 pétalos blanco-amarillentos en la base, y en la parte superior un tono moreno-rojizo de unos 2.6 mm de ancho.

El fruto del mangle rojo es una baya de color marrón, de textura coriácea y dura, farinosa, piriforme, de unos 2 a 3 cm de largo por 1.5 cm de ancho; a su vez, el cáliz es persistente. Normalmente se desarrolla una semilla, o a veces hasta dos, por fruto. Posee viviparidad, es decir, la semilla germina en el interior del fruto y presenta propágulos curvos de color verdoso-pardo en su parte inferior, además de presentar lenticelas. Las semillas pueden medir entre 22 y 40 cm de largo, y entre 1 y 2 cm de diámetro en la parte más ancha, su peso es de 50 g aproximadamente (Feller, 1995).

El mangle rojo es una especie silvestre típica de los litorales, donde puede estar formando masas en las zonas intermareales de las lagunas costeras, o en esteros que confluyen con agua salada; crece en ambientes donde continuamente hay movimiento de aguas hipersalinas y salobres. Prospera mejor en sitios con poca pendiente, donde pueda entrar con mayor facilidad la marea, mientras que en sitios de oleaje fuerte se dificulta su desarrollo. Consecuentemente, la característica propia del hábitat de los manglares permite que sean muy sensibles en zonas donde hay gran perturbación (Linsingen et al., 2009).

2.4.2. Mangle negro (*Avicennia germinans* L.)

Es un arbusto o árbol perenne que pertenece a la familia Acanthaceae (figura 6). Esta especie se distribuye desde el sur de los Estados Unidos y México, Bermudas, Antillas, América Central, América del Sur (Brasil, Colombia, Ecuador (incluyendo las Islas Galápagos), Guayana Francesa, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) y el oeste tropical de África (POWO, 2021).



Figura 6: Mangle negro (*Avicennia germinans*)

El mangle negro es un árbol o arbusto siempre verde, es monoico y puede medir unos cinco metros de altura, o alcanzar tallas de hasta 25 m, su tallo es grueso, de 20 a 60 cm de ancho, con corteza de color marrón oscuro, la cual tiene escamas irregulares, aplanadas y ásperas. Esta especie presenta raíces superficiales y desarrolla también raíces modificadas

para capturar el oxígeno en ambientes anegados, denominadas neumatóforos (CONABIO 2009).

Las hojas del mangle negro tienen forma elíptica y se disponen de manera opuesta; son gruesas con consistencia coriácea y presentan glándulas en extremo apical. Cada hoja mide de 3 a 15 cm de longitud por 1 a 4 cm de ancho y cuelga de un pecíolo grueso de 1.3 cm de largo. Las flores son sésiles, miden de 1 a 2 cm y se organizan en inflorescencias axilares que miden de 2 a 6 cm de largo. Las corolas desarrollan un tubo de 0.3 a 0.4 cm de largo y tienen color verdoso, crema o blanco. Los cuatro estambres miden de 0.4 a 0.5 cm de largo, mientras que el estilo mide de 0.1 a 0.3 cm de longitud. Los frutos miden de 2 a 3 cm de diámetro, son planos, verde oscuro y con un pericarpio aterciopelado.

El género *Avicennia* (L.) estaba ubicado en la familia Verbenaceae, posteriormente fue segregado a la familia Avicenniaceae, sin embargo, con base en estudios moleculares ha resultado tener más afinidad con la familia Acanthaceae. El género ha sido clasificado en dos áreas geográficas que corresponden al nuevo y viejo mundo, *A. germinans* es considerada como una de las especies con mayor aporte en el nuevo mundo (Feller, 1995). En las áreas naturales, el mangle negro habita en formaciones leñosas que se ubican a una altitud de 0 a 15 msnm. Se adapta a una variedad de condiciones climáticas que van desde los climas lluviosos tropicales hasta los semiáridos o áridos. Es frecuente en las orillas de cuerpos de agua costeros, bahías y desembocaduras de ríos. También puede colonizar ciénagas que no sufren inundaciones y tienen bajos niveles de sal. Esta especie responde a un gradiente de salinidad, cohabitando con otras especies de manglares cuando la salinidad oscila entre 30 a 40 partes por mil, mientras que, si la salinidad es mayor o igual a 50 partes por mil, el mangle negro es la especie dominante (Sobrado, 2009).

2.5. Definición de materia orgánica

Se denomina materia orgánica del suelo (MOS) a la sustancia de color oscuro que se encuentra en el seno del suelo y que no es separable de la materia orgánica de la matriz del suelo ni reconocible su procedencia, vegetal o animal (Gallardo-Lancho, 2016)

2.5.1. Composición de la materia orgánica.

La materia orgánica está compuesta por residuos orgánicos, ya sean animales o vegetales, es decir, son los organismos que estuvieron vivos y sus restos regresan al suelo para ser descompuestos con ayuda de la microbiota del suelo e incorporados al mismo como humus. Estos residuos normalmente proceden de la actividad agrícola, pecuaria o agroindustrial. Debido a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos propiciados por la humedad, la temperatura, el aire y los microorganismos; la materia orgánica del suelo (MOS) se transforma en humus en un tiempo de tres a cuatro meses.

La materia orgánica está compuesta por carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos del suelo descomponen la materia en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus, un componente muy deseado por los agricultores, que contribuye enormemente a la fertilidad del suelo.

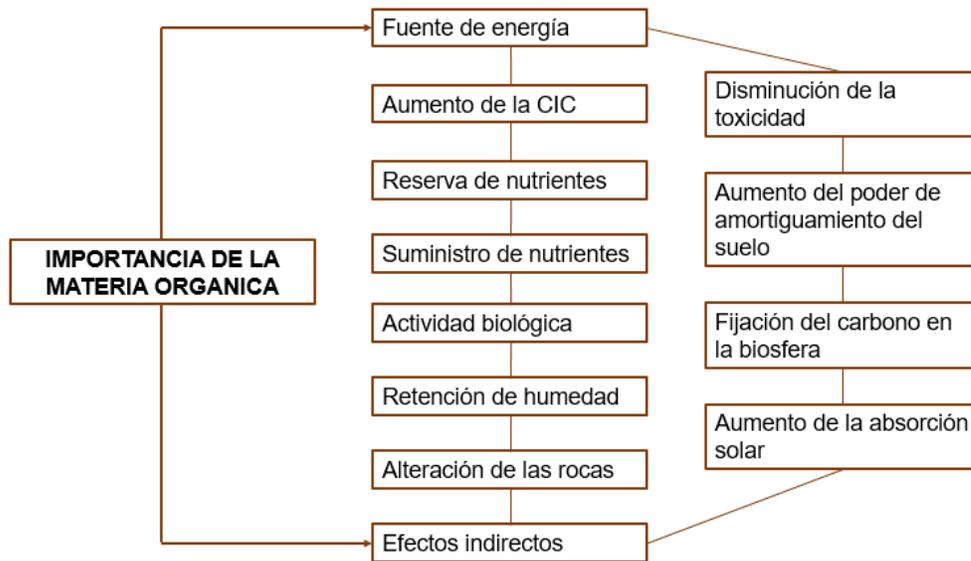
El humus se transforma a través de un proceso lento que dura alrededor de un año, siempre que las condiciones ecológicas sean óptimas. Este proceso se conoce como mineralización. Sistemáticamente la MO fresca sufre una primera transformación rápida que la convierte en humus y éste a su vez sufre una descomposición mucho más lenta en la cual se liberan los nutrientes que contiene.

La materia orgánica está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus. Durante el proceso de descomposición los microbios pueden atrapar nitrógeno del suelo. La materia orgánica y el humus almacenan muchos nutrientes del suelo. También mejoran su estructura, sueltan suelos de arcilla, ayudan a prevenir la erosión y mejoran la capacidad de retención de nutrientes y agua de suelos arenosos o toscos. La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje del mismo y de su laboreo.

2.5.2. Importancia de la materia orgánica

Históricamente se ha considerado a la MOS como un factor importante en la agricultura (hasta el siglo XIX) porque se pensaba que ésta era la base nutricional de las plantas (figura 7). Los estudios de Liebig demostraron que los nutrientes inorgánicos se toman a través de

la solución del suelo y, cuando son escasos en el suelo, solo un suplemento de nutrientes, a través de adición de fertilizantes, puede satisfacer las demandas nutricionales de las plantas. Se consideró que la materia orgánica no intervenía en la nutrición vegetal de manera directa, pero toma importancia fundamental en la formación de los suelos (edafogénesis o pedogénesis), teniendo una fuerte influencia sobre las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo y, por ende, en su fertilidad (Gallardo-Lancho, 2016).



fuelle: Gallardo-Lancho, 2016

Figura 7: Esquema de importancia de la materia orgánica

2.5.3. Materia orgánica en los manglares

El sistema de manglar funciona a partir de los subsidios de materia (nutrientes, sedimentos, materia orgánica, agua dulce y salobre) y energía recibida (luz, temperatura, oleaje, mareas y huracanes). Estos elementos permiten al aparato fotosintético producir cierta cantidad de biomasa que se expresa en términos de materia orgánica (producción primaria); la cual es variable debido a diferentes factores como la latitud, estacionalidad y precipitación. Esta producción en la mayoría de los casos ha sido cuantificada en los manglares a través de la caída de hojarasca (Golley *et al.*, 1962; Rico-Gray y Lot-Helgueras, 1983; Steinkey y Charles, 1983; 1984).

Todas las plantas experimentan cierto grado de forrajeo sobre su estructura, lo cual implica un consumo por diferentes organismos sobre raíces, tallos, flores, propágulos y hojas; este consumo se conoce como herbivoría (Onuf *et al.*, 1977). De manera general, en los manglares la herbivoría es baja y sólo la realizan organismos como insectos y crustáceos, debido a que estos vegetales poseen gran cantidad de sustancias de olor y sabor desagradables como los taninos (Southwell y Boltman, 1971; Beever *et al.*, 1979).

La materia orgánica producida en el manglar es transformada a través del proceso de degradación. La velocidad con que se realiza este proceso es variable y depende del ambiente de degradación, contenido de proteína, celulosa, lignina y de la composición química del tejido en descomposición, el cual ofrecerá mayor o menor resistencia a los microorganismos (Heald, 1969; Ulken, 1984; Bremer, 1995). La hojarasca cae constantemente al piso, es removida cuando se deposita en sitios inundados donde se inicia el proceso de degradación, el cual puede ser lento en *R. mangle* o rápido en *A. germinans* (Tovilla-Hernández, 1998).

Bajo la influencia de la marea, la hojarasca se redistribuye constantemente. Una buena parte de esta materia se queda dentro del sistema y es reciclada al interior de los bosques; mientras que otra parte es exportada hacia la zona marina como detritus. De acuerdo con el contenido de materia orgánica presente en el detritus, éste representa un subsidio para muchas cadenas alimenticias, dentro de las cuales destacan especies de interés comercial como el camarón, tanto en los estuarios como en el mar (Flores-Verdugo *et al.*, 1987; Wolanski, 1995; Lee, 1995).

La degradación depende en gran parte de la situación del suelo cuando caen las hojas; si el manglar está inundado es rápida, de lo contrario será más lenta. Los procesos que probablemente aceleran la degradación son el arrastre por las mareas y la llegada de la época de lluvias, desencadenando rápidamente el proceso de degradación *in situ*. El efecto de la marea sobre la degradación depende del tipo de bosque de manglar. El contenido de taninos que puede inhibir la acción de los microorganismos y la cantidad de compuestos nitrogenados en las hojas son factores que modifican el tiempo de descomposición de la MO, como ha sido demostrado por Cundell *et al.* (1979). En este proceso, el material vegetal, inicialmente bajo en proteínas, es transformado en partículas más pequeñas de detritus, pero con cantidades mayores de proteínas de origen microbiano; los almidones y azúcares se oxidan al mismo

tiempo que sucede un incremento de las proteínas, debido a la colonización de la superficie del detritus por bacterias y hongos, provocando que poblaciones de ciliados y nematodos pastoreen, ingiriendo las partículas más pequeñas; éstos a su vez, son consumidos junto con partículas más grandes por organismos detritófagos como anfípodos, gasterópodos, bivalvos y poliquetos (Fenchel, 1970; Cundell *et al.* (1979). Al pasar por el tracto digestivo de estos organismos, el núcleo vegetal no sufre gran alteración, pero puede ser nuevamente fragmentado; las fracciones no digeridas son defecadas y nuevamente colonizadas, hasta que la materia orgánica es totalmente aprovechada. Por esta razón, el material foliar como fuente de alimento aumenta su calidad nutricional durante la degradación.

El aporte de hojarasca de *Conocarpus erectus* sistema es importante, desafortunadamente las áreas cubiertas por esta especie son mínimas, además de que su elevada concentración de celulosa y lignina retrasan el proceso de degradación, aunado a ello, sus hojas se depositan sobre suelos arenosos y con poca humedad; en estos ambientes la desintegración es más tardada. *R. mangle* contiene porcentajes importantes de N, P y materia orgánica. Sin embargo, es muy resistente a la descomposición debido a un elevado contenido de celulosa y taninos, a pesar de ello, un factor favorable para este proceso es que las hojas caen al agua, donde la velocidad de degradación es mayor. *L. racemosa* es pobre en ambos compuestos, pero las hojas se degradan rápidamente y, de la misma manera que el mangle rojo, cae en el agua (Tovilla-Hernández, 1998).

Las diferencias en la velocidad de degradación observadas sugieren que la acción mecánica de la corriente propicia la fragmentación del material, acelerando el proceso de descomposición, otro factor importante es la presencia de gran cantidad de cangrejos, isópodos y algunos poliquetos, los cuales contribuyen al proceso de degradación. La degradación inicia con la autólisis, proceso que sucede más rápido cuando la salinidad y la temperatura son elevadas, y en el cual no intervienen los microorganismos. La MO que se pierde durante la autólisis logra ser recuperada parcialmente mediante el incremento bacteriano, aumentando aproximadamente un 10 % del contenido inicial. Posteriormente sucede la lixiviación y mineralización, procesos altamente dependientes de las bacterias y hongos que abundan dentro de estos ambientes. En los primeros 14 días se pierde entre 80 %

y 100 % de la materia orgánica soluble y el carbono contenido en las hojas, como ha sido demostrado por Fell y Master (1974) y Camilleri y Ribbi (1983).

CAPÍTULO III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Estimar los componentes de la materia orgánica en dos ecosistemas maduros de mangle: rojo (*Rhizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*).

3.2. Objetivo específicos

1. Caracterizar taxonómicamente el suelo de dos ecosistemas maduros de mangle rojo y negro.
2. Elaborar un diagnóstico nutrimental de los suelos de ecosistemas maduros de mangle rojo y negro.
3. Estimar, en época seca y húmeda, los componentes de la MO (carbono orgánico y soluble, ácidos húmicos y fúlvicos) en ecosistemas maduros de mangle rojo y negro.
4. Caracterizar la vegetación de los ecosistemas de mangle rojo y negro.

CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Paraíso está ubicado en la Región del Río Grijalva, en la subregión conocida como Chontalpa en el Estado de Tabasco, en las coordenadas 18° 24' 00" latitud norte y 93° 13' 59" longitud oeste, a una altitud promedio de 10 metros sobre el nivel del mar. Presenta una superficie territorial de aproximadamente 377.55 Km² (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011). El clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias durante el verano, siendo los meses de mayo a agosto los más calurosos, con temperaturas que sobrepasan los 34 °C grados centígrados (Palma-López *et al.*, 2007)

La Laguna Mecoacán está situada en el extremo oeste de la costa de Tabasco, cerca del Poblado conocido como Puerto Ceiba, comprendiendo la porción noreste de la Llanura Deltaica del Río Mezcalapa. Se localiza entre las coordenadas 18°16' y 18°26' de latitud norte, y 93°04' y 93°14' de longitud oeste (Galaviz *et al.*, 1987). Su forma es irregular, alargada, paralela a la línea de la costa, con el eje mayor orientado de este a oeste; con una longitud aproximada de 12 km y, un ancho máximo de 5.5 km, cubre un área aproximada de 62 km², está rodeada de pantanos y vegetación de manglar. Se encuentra separada del Golfo de México por una barrera litoral de origen marino, de aproximadamente 12 km de largo por 3 km de ancho y alrededor de 4 m de altura máxima, formada por antiguos cordones de playa. La comunicación con el Golfo de México es constante y se realiza a través de una boca natural de aproximadamente 300 m de ancho conocida como Barra de Dos Bocas (Barba-Macías *et al.*, 2006).

En su parte norte, próxima a la desembocadura del Río Seco y la Barra de Dos Bocas, se localiza la Isla Morelos; al sur de ella el cuerpo lagunar sufre un estrechamiento llamado Boca Grande, formado por la Barra del Bellote y un grupo de pequeños islotes que forman parte del sistema lagunar y están asociados a la laguna principal, también se localizan dos cuerpos de agua pequeños denominados lagunas Tilapa y La Negrita los cuales comunican a la laguna Mecoacán a través de canales (Barba-Macías *et al.*, 2006).

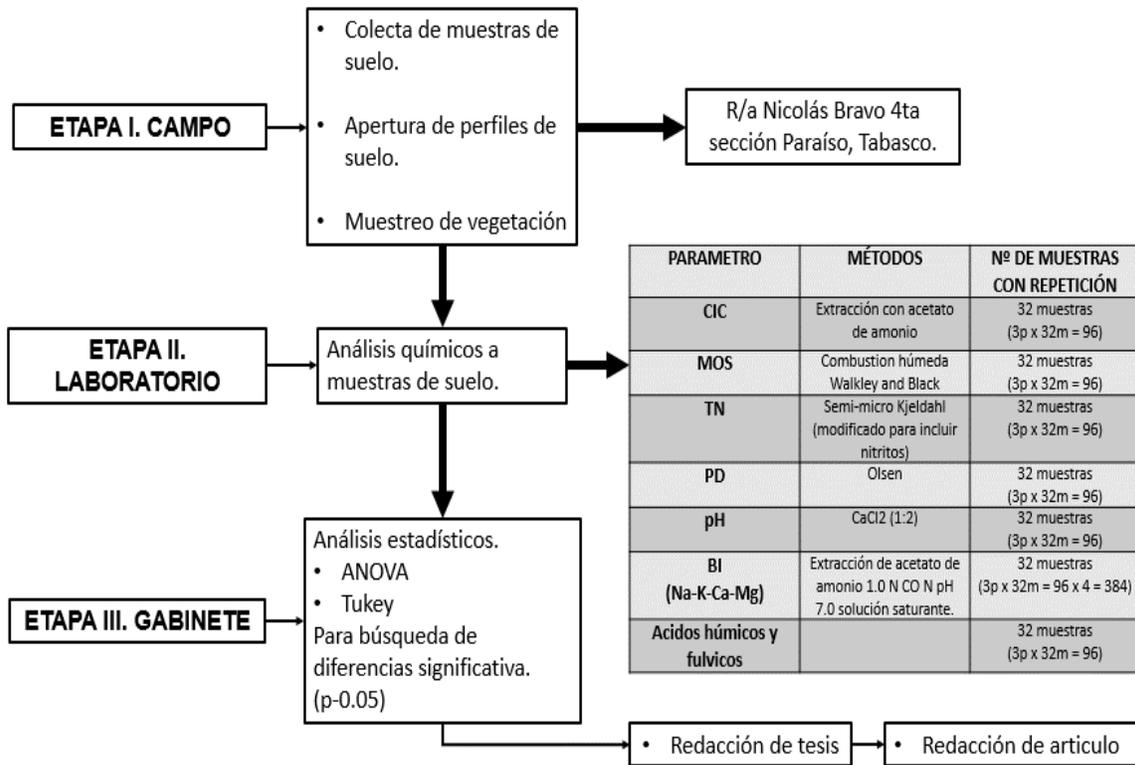


Figura 8: Proceso de investigación

Para cumplir con nuestros objetivos se planteó el siguiente esquema de investigación que nos permitió llevar nuestras actividades acabo y de manera ordenada (Figura 8).

4.1. Caracterización taxonómica del suelo de dos ecosistemas maduros de mangle rojo y negro

Se aperturò, en cada ecosistema una calicata de 1 m de ancho por 2 m de largo, y una profundidad de 1.60 m, orientadas de forma que la luz dé en una de las paredes de la calicata para poder diferenciar mejor los horizontes, por cambio de color. En cada horizonte se determinaron las siguientes variables morfológicas: textura al tacto, pH de campo, consistencia, color (por medio de la carta Munsell), agregados, raíces, pedregosidad, presencia de manto freático, salinidad y otras variables relacionadas con el ambiente y los factores de formación del suelo (Cuanalo, 1990).

Se tomaron muestras de cada horizonte y fueron trasladadas al Laboratorio Central para su secado y posterior análisis. Los análisis realizados a las muestras fueron los recomendados

en la NOM-021-2000 para clasificación de suelos (SEMARNAT, 2002): materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extraíble, cationes intercambiables, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico, granulometría, densidad aparente y salinidad. A partir de los resultados se clasificaron los suelos de acuerdo con el Referencial Pedológica Mundial o WRB por sus siglas en inglés (WRB, 2015).

4.2. Diagnóstico nutrimental de los suelos de ecosistemas maduros de mangle rojo y negro

Se tomaron muestras compuestas de suelo con barrena tipo holandesa a la profundidad de 0-0-60 cm, las muestras se conformaron de 15 submuestras tomadas aleatoriamente en zig-zag (NRCCA, 2008), considerando cuatro muestras por cada época (seca y húmeda) y ecosistema de mangle (negro y rojo).

Las muestras colectadas se pusieron a secar para posteriormente realizar los análisis químicos requeridos de acuerdo con las metodologías correspondientes y estipulados en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Los análisis que se realizaron se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1: Métodos utilizados para análisis nutrimental en los suelos asociados a los ecosistemas de mangle

| PARAMETRO | METODOS | N° DE MUESTRAS CON REPETICION |
|---------------------------|---|--------------------------------------|
| CIC | Extracción con acetato de amonio | 16 muestras |
| MOS | Combustion húmeda Walkley y Black | 16 muestras |
| TN | Semi-micro Kjeldahl (modificado para incluir nitritos) | 16 muestras |
| PD | Olsen | 16 muestras |
| pH | CaCl ₂ (1:2) | 16 muestras |
| BI (Na-K-Ca-Mg) | Extracción de acetato de amonio 1.0 N CO N pH 7.0 solución saturante. | 16 muestras |
| Acidos húmicos y fulvicos | Kononova-Belchikova | 16 muestras |

4.3. Estimación de los componentes de la MO (carbono orgánico y soluble, ácidos húmicos y fúlvicos) en ecosistemas maduros de mangle rojo y negro

Se realizó un muestreo en cada zona, procurando contar con al menos cuatro muestras por época y ecosistema. Las muestras tomadas en cada uno de los horizontes y ecosistemas (descrito con anterioridad) fueron secadas, molidas y tamizadas a través de una malla de 0.5 mm, para su posterior traslado al Laboratorio de Suelos del INIFAP (campus experimental Huimanguillo), donde se realizaron los análisis pertinentes. El análisis del C soluble se realizó considerando como extractante al cloruro de calcio (CaCl_2) 0.01 M. y siguiendo la siguiente técnica:

Se pesaron 5 g de suelo seco en un tubo de polipropileno de 100 ml de capacidad, se agregaron 50 ml de CaCl_2 0.01 M; se tapó el tubo con un tapón de hule asegurando que no hubiera escurrimientos; se agito durante una hora en una agitadora de vaivén calibrada a 180 oscilaciones por minuto. Inmediatamente después de la agitación se filtró (papel Whatmman No. 42) el contenido del tubo en un matraz Erlenmeyer, se tomó una alícuota de 5 ml con pipeta volumétrica (clase A), se aforó con agua destilada en un matraz volumétrico de vidrio de 25 ml (clase A) y se leyeron las muestras en absorbancia (espectrofotometría) a 360 Nm (SEMARNAT, 2002).

La estimación del Carbono orgánico del suelo se realizó a través del método de combustión húmeda de Walkley y Black recomendada en la NOM-021-2000 (Armida-Alcudia, 2005); y considerando las muestras tomadas en cada uno de los horizontes de los ecosistemas (cuatro horizontes por cada perfil).

Para la extracción de los ácidos húmicos y fúlvicos a las muestras tomadas en cada uno de los horizontes y ecosistemas (descrito con anterioridad), secadas, molidas y tamizadas a través de una malla de 0.5 mm, se les aplicó pirofosfato sódico 0.1M (44.6 g $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ en 1000 cm^3 de agua destilada), y se les añadieron 200 cm^3 de esta solución por cada 10–50 g de muestra utilizando frascos de centrífuga que se mantuvieron en agitación durante cinco a seis horas. Posteriormente se llevaron a centrifugar cinco minutos a 2000 rpm y la solución sobrenadante, que es la que contiene la solución húmica, se pasó a una botella para aplicarle luego la segunda solución extractante de hidróxido sódico 0.1M (4 g NaOH en 1.000 cm^3 de agua destilada) se mantuvo en agitación por cuatro horas y se centrifugo durante cinco

minutos a 2000 rpm. Esta operación se repitió hasta que el extracto final presentó una coloración poco intensa. El tratamiento previo con pirofosfato ejerce un efecto descomplejante de la MO, precipita los metales bivalentes con que se encuentran asociadas las SH y las solubiliza en forma de sales sódicas (humatos y fulvatos). Posteriormente los ácidos fueron separados y determinados con base en la metodología propuesta por Gonzalo *et al.* (2010).

El diseño experimental del estudio fue completamente al azar y los datos fueron analizados (ANOVA) a través de un arreglo factorial (de muestreo: seca y húmeda; y dos ecosistemas de mangle: negro y rojo). Donde se encontraron diferencias estadísticas significativas se corrió una prueba de medias (Tukey) con 0.05 de significancia.

4.4. Caracterizar la vegetación de los ecosistemas de mangle rojo y negro

Por último, el muestro de vegetación en los dos ecosistemas de mangle se realizó el 13 de septiembre de 2019, por el método de transectos (Mostacedo y Fredericksen, 2000); para ello en cada parcela de mangle se delimitaron, con hilo de rafia, cuatro transectos de 15 m de largo por 10 m de ancho. En cada unidad de muestreo se realizó un inventario de la totalidad del arbolado con diámetro ≥ 2.5 cm, registrándose los siguientes datos: diámetro de tronco (DAP), con ayuda de una cinta diamétrica; altura, con una pistola Haga, y porcentaje de cobertura. En cada transecto se contabilizó además el número de árboles de menor talla y el número de plántulas presentes en cada unidad de muestreo. En *A. germinans* el DAP se midió a 1.30 m de altura, para *R. mangle* en cambio se midió 30 cm por encima de la última raíz aérea (Corella-Justavino *et al.*, 2004).

La información de campo se sistematizó en el programa Excel 2016, donde se generó una base de datos, que fue utilizada para estimar la densidad por hectárea, establecer las clases diamétricas (2.5-4.9, 5-7.4, 7.5-9.9, 10-12.4, 12.5-14.9, 15-19.9 y >20 cm), en las cuales fueron ubicados los individuos muestreados; el conocimiento de las clases diamétricas es importante porque nos puede proporcionar información acerca de la abundancia relativa de las especies y la dinámica de incorporación y desaparición de éstos en la comunidad (Velázquez-Pérez *et al.* 2019). El área basal (AB) y el volumen de la base del tronco se calcularon mediante las siguientes fórmulas (Mostacedo y Fredericksen, 2000):

$$AB = p(D^2/4)$$

donde:

$$p = 3.141592$$

D = diámetro a la altura del pecho

$$\text{Vol} = \text{AB} * h$$

donde:

Vol = Volumen del tronco

AB = Área basal del tronco

h = Altura total del tronco

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización taxonómica de los suelos

El suelo se clasificó como Protosodic Stagnic Gleyic Solonchak (Clayic, Humic) para la zona donde se ubica el mangle negro (*Avicennia germinans*), determinado principalmente por la conductividad eléctrica (CE) y la cantidad de materia orgánica (figura 9), en tanto que para la zona donde se encuentra la especie mangle rojo (*Rhizophora mangle*) se clasificó como Gleyic Solonchak (Clayic, Histic Humic Hypersalic), cuyas características principales son la alta cantidad de materia orgánica, la salinidad y manto freático (figura 10) (WRB 2015).

| Perfil | H | Descripción del perfil |
|--|----------|--|
|  | 0-(5) | Humedad, saturado; color, pardo muy oscuro (10YR 2/2); consistencia muy húmedo, no pegajoso y no plástico; textura al tacto, materia orgánica (turba); permeabilidad rápida; raíces, abundantes, finas, delgadas; nula reacción al HCl y al H ₂ O ₂ pH 7. |
| | 5-(25) | Humedad, saturado; color de matriz, Gris oscuro (Glay 4/N); consistencia en muy húmedo, pegajoso y plástico; textura al tacto, arcilloso; permeabilidad muy lenta; raíces, abundantes, finas y delgadas; nula reacción al HCl y al H ₂ O ₂ pH 7. |
| | 25-(80) | Humedad, saturado; color gris (Glay 5/N); con motas color pardo amarillento oscuro (10YR 4/6) marcadas; consistencia en muy húmedo, pegajoso y plástico; textura al tacto, arcilloso; permeabilidad muy lenta; nula reacción al HCl y al H ₂ O ₂ pH 6. |
| | 80-(110) | Humedad, Saturado; color de matriz 50%, gris (Glay 5/N) + color de matriz 50% pardo amarillento (10YR 5/8); consistencia en muy húmedo, pegajoso y plástico; textura al tacto, arcilloso; permeabilidad muy lenta; nula reacción al HCl y al H ₂ O ₂ pH 7. |

Figura 9: Perfil de suelo en mangle negro clasificado como Protosodic Stagnic Gleyic Solonchak (Clayic, Humic) Tomado de investigación del (Dr. David Jesús Palma López)

| Perfil | H | Descripción del perfil |
|--|--------------------------|---|
|  | <p>Az (0-20)</p> | <p>Suelo saturado; color pardo oscuro (7.5YR 3/3); textura material orgánico hémico; consistencia no pegajoso y no plástica; sin reacción al HCl y ligera al peróxido de hidrógeno; lámina de agua de 45 cm.</p> |
| | <p>Cgz1 (20-25)</p> | <p>Suelo saturado; color pardo oscuro (7.5YR 3/2); textura arcillosa; consistencia pegajoso y muy plástica; sin reacción al HCl y ligera al peróxido de hidrógeno.</p> |
| | <p>Cgz2 (25-118)</p> | <p>Suelo saturado; color gris verdusco (5GY 5/1); motas colores pardo amarillento (10YR 5/6), y amarillo pardusco (10YR 6/8); textura arcillosa; consistencia muy pegajoso y muy plástica; sin reacción al HCl y moderada al peróxido de hidrógeno.</p> |

Figura 10: Perfil de suelo en mangle rojo clasificado como Gleyic Solonchak (Clayic, Histic Humic Hypersalic) tomado de investigación del (Dr. David Jesús Palma López)

4.2. Diagnóstico nutrimental de los suelos de ecosistemas maduros de mangle rojo y negro

Los resultados de las propiedades químicas de los suelos de los dos ecosistemas de mangle estudiados a la profundidad 0-60 cm se muestran en el Cuadro 2. En palabras de Suárez y Medina (2005) afirman que la composición química y la estructura física del suelo están determinadas por el tipo de material geológico del que se originó el suelo, además de la cubierta vegetal, el tiempo que ha actuado el intemperismo, la topografía y los cambios artificiales, resultado de las actividades humanas a través del tiempo. Las diferentes especies de mangle varían en su tolerancia a la salinidad, a las bajas concentraciones de oxígeno, a la

estabilidad del sustrato, a la frecuencia con la que se inundan, a la relación entre la precipitación y la evaporación y a las características del relieve (CONABIO, 2009). Sánchez-Páez *et al.* (2004) mencionan que la presencia de cada comunidad de mangle obedece a diferentes patrones de inundabilidad del lugar donde se presenta, esta tendencia depende de las condiciones ambientales gobernantes, como la salinidad, las bajas precipitaciones y la alta evaporación condicionadas por el clima, lo que indica que la concentración de sal probablemente regula la zonación del manglar en la región, afectando las condiciones químicas de suelo y agua en los distintos ecosistemas de mangle.

Cuadro 2: Propiedades químicas promedio de los suelos de los ecosistemas mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle negro (*Avicennia germinans*). Promedios de. MO= materia orgánica; N (Kjeldahl); P (olsen); K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; CIC= Capacidad de intercambio catiónico; AF= ácidos fúlvicos; AH= ácidos húmicos; COS= Carbono orgánico soluble.

| Temporada | Ecosistema | pH (H ₂ O) | M O | N % | P mg kg ⁻¹ | K | Ca | M g | CI C | A H | A F | C OS |
|-----------|--------------|-----------------------|------|------|--------------------------------------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | Rel. 1:2 | % | % | cmol _(c) kg ⁻¹ | % | ABS | | | | | |
| Seca | Mangle Negro | 6.42 | 2.63 | 0.11 | 5.83 | 0.17 | 12.78 | 3.27 | 27.16 | 0.87 | 2.28 | 0.24 |
| | Mangle Rojo | 4.97 | 4.33 | 0.16 | 7.69 | 0.28 | 14.50 | 4.07 | 32.32 | 1.29 | 2.57 | 0.26 |
| Lluvia | Mangle Negro | 6.64 | 3.35 | 0.15 | 7.07 | 0.36 | 14.49 | 5.43 | 30.76 | 1.06 | 2.40 | 0.25 |
| | Mangle Rojo | 5.39 | 7.64 | 0.33 | 9.96 | 0.54 | 14.88 | 7.78 | 33.27 | 2.06 | 3.42 | 0.29 |

El pH mostró valores que van de neutro para mangle negro, a fuerte y moderadamente ácido en mangle rojo (NOM 021- 2000). En la figura 11 se observa que no hubo diferencias estadísticas significativas por época, sólo lo hubo por agroecosistemas, los aportes de humedad constante y las características propias de los residuos inciden en los bajos valores de pH en el mangle rojo, el pH suele ser ácido en suelos tropicales, más aun en los suelos de manglar (Sánchez-Arias *et al.*, 2010), el metabolismo anaeróbico en el ecosistema natural de

mangle ocupado con suelos anegados ricos en sulfatos donde la reducción de este es el proceso dominante, hace que los suelos sean generalmente ácidos (Senior *et al.*, 1982).

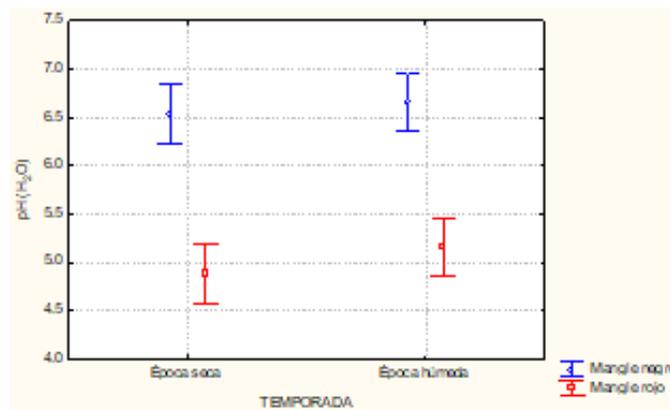


Figura 11: Comportamiento del pH en el agroecosistema de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*) en dos épocas del año

El comportamiento de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC) se muestra en la (Figura 12). Los valores promedio obtenidos de CIC se clasifican como alta ($25-40 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg}^{-1}$, NOM 021- 2000), lo cual se debe a la gran cantidad de arcillas y limos presentes en el manglar favorecen una mayor área superficial y carga negativa, por ello son químicamente más activos que las arenas, lo cual coincide con lo descrito por (Middleton y Mckee 2001).

Con respecto a las variaciones de CIC entre ecosistemas, se explica por la lluvia y su carga sedimentológicas, factores que influyen también en las características químicas, físicas y biológicas de los suelos, (Castellanos-Martínez, 2009). El mangle rojo en el área de estudio suele recibir mayor carga hídrica año con año (Rodríguez-Zuñiga *et al.* 2018) y el mangle negro tuvo una importante carga sedimentológica por ello la CIC fue mayor en este ecosistema. La CIC es la capacidad de retener o intercambiar diferentes elementos minerales, y esta condición aumenta cuando hay mucha presencia de materia orgánica, y se puede decir que es la base que determina la fertilidad del suelo (Bautista *et al.* 2004; Dinesh *et al.* 2004).

El potasio y el magnesio (Figura 13), presentaron, al igual que la CIC, diferencias estadísticas significativas relacionadas con las épocas, en donde en la seca y en el mangle rojo los contenidos fueron mayores. En Ca no hubo diferencias estadísticas significativas, sin embargo. los valores de Ca y Mg fueron altos, mientras que el K presentó en los suelos de

estudio, valores de bajos a medios (NOM 0-21-2000). La mayor presencia de bases de intercambio en mangle rojo en la época de lluvias concuerda con lo reportado por Moreno y Calderón (2011), quienes mencionan que se incrementa la presencia cationes debido a las inundaciones en los bosques de mangle.

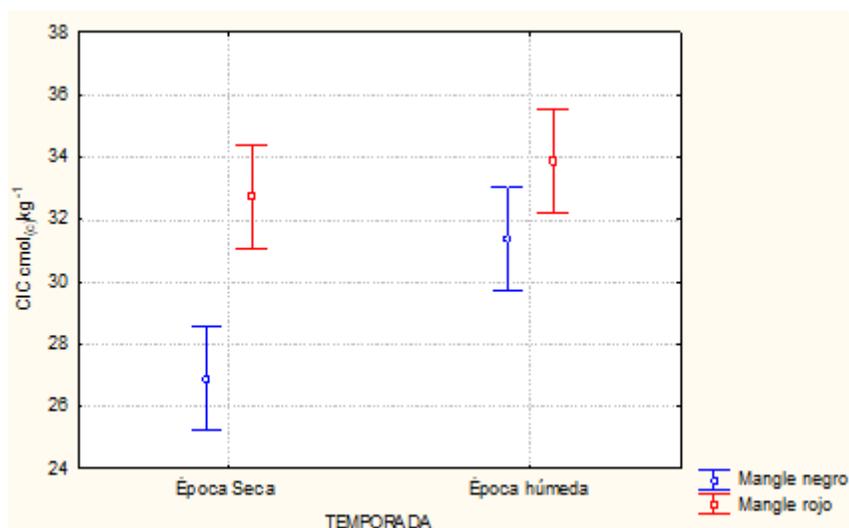


Figura 12: Comportamiento de la CIC en el agroecosistema de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*) en dos épocas del año.

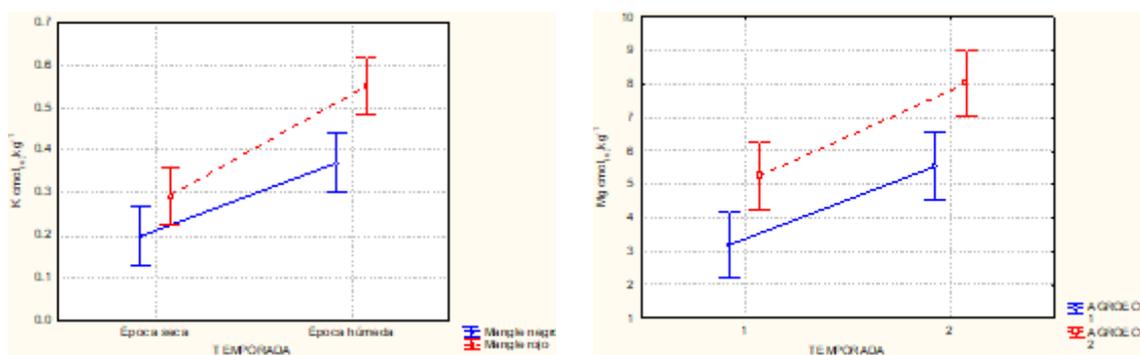


Figura 13: Comportamiento del K y Mg en el agroecosistema de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*) en dos épocas del año.

El comportamiento del N total se muestra en la Figura 14, los valores fueron altos para el agroecosistema mangle rojo en las dos épocas y para el negro en la época húmeda (NOM 0-21-2000), estos valores fueron estadísticamente similares entre sí. Las diferencias en el contenido de N por temporada entre los ecosistemas podrían deberse a que *Rhizophora*

permanece más tiempo inundado durante la temporada de lluvia y es constante, año con año. Al respecto, Goncalves *et al.* (2017) aseveran que los manglares que pasan más tiempo inundados al año presentan mejores condiciones para el desarrollo de bacterias fijadoras de N. Las mayores concentraciones de N en sedimento son promovidas por el estado de conservación de los ecosistemas (Fernández *et al.*, 2012), en el presente estudio se observó que el agroecosistema *Rhizophora* presenta mayor dificultad para su acceso a las poblaciones cercanas que busquen explotarlos. Sheridan (1992) sugiere que, a mayor salinidad se reduce la fijación de N en ecosistemas de *A. germinans*; Romero *et al.* (2012) indican que los contenidos de N en los suelos asociados a bosques de mangle son mayores cuando coinciden con altos contenidos de P; en nuestro estudio, *Rhizophora* presentó menor salinidad y mayores contenidos de P, tanto en época seca como en lluvias.

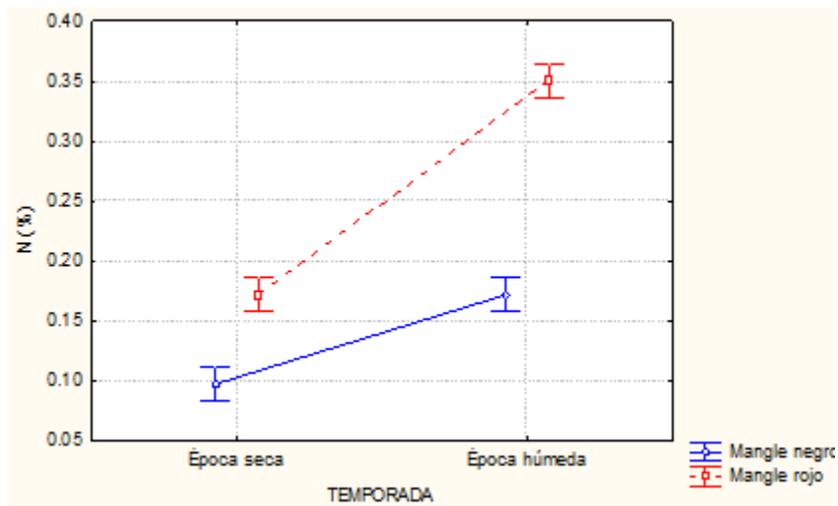


Figura 14: Comportamiento del N total en el agroecosistema de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*) en dos épocas del año.

Los ecosistemas terrestres y acuáticos son reconocidos como sumideros de carbono por almacenar, durante largos periodos el CO₂ fijado de la atmosfera como parte del ciclo geogeoquímico del carbono (Adame *et al.*, 2018). En los humedales costeros el carbono se encuentra secuestrado en la biomasa de las plantas, pero en los manglares el suelo es el principal almacén de carbono, ya que tiene capacidad para acumular hasta cuatro veces más que los ecosistemas terrestres; Alongi (2014) explica que se debe a la alta tasa de biomasa,

que es producto de la fotosíntesis y gran cantidad de sedimentos que caracteriza a los manglares.

Sitoe *et al.* (2014) asegura que la capacidad de fijación de CO₂ atmosférico en los bosques de mangle se debe principalmente a la densidad y productividad del bosque, el área basal, la altura y la edad de los árboles, así como la eficiencia fotosintética de cada especie, los cuales son modulados por las características fisicoquímicas del agua y suelo (en este caso, pH, potencial redox, salinidad, nutrientes), topografía e hidroperiodo, dinámica de los sedimentos y el clima.

Los porcentajes de materia orgánica en los análisis realizados arrojaron una diferencia significativa en cada ecosistema. López-Portillo (1982) plantea que las variaciones temporales de la temperatura, la insolación y el nivel de inundación en la costa de la laguna de Mecoacán, influyen en la caída de las diferentes partes morfológicas que constituyen a la hojarasca de *A. germinans*. Por lo tanto, los cambios en la diversidad, cobertura y fisonomía en los individuos de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* están relacionados con los intervalos de salinidad por ciclo anual y con otros factores, tales como el nivel de inundación y el grado de anaerobiosis.

En la Figura 15 se muestra el comportamiento del nutrimento P en los dos ecosistemas de manglar, en las dos épocas, como en la mayoría de los resultados de los contenidos nutrimentales del presente estudio, el mangle negro presentó un incremento importante en sus contenidos para la época húmeda lo que le permitió presentar similitudes estadísticas con los contenidos del mangle rojo. El fósforo presentó valores medios en los dos agroecosistemas de mangle y en las dos épocas, seca y húmeda, sin embargo, los valores promedio más altos se encontraron en el mangle rojo (9.5 mg kg⁻¹), el mangle negro presentó valor promedio de 6.2 mg kg⁻¹ (NOM-021-2000). El fósforo es un elemento que en agroecosistemas arbóreos suele presentar valores medios, lo anterior se relaciona con la propiedad que los árboles tienen para extraer este elemento de grandes profundidades del suelo (Sánchez *et al.*, 2017). En el caso del agroecosistema manglar existe un aporte alto de su biomasa (aérea y radical), que permite un suministro considerable de nutrientes, que está en función de la mineralización de estos materiales, así como también del grado de perturbación que presenten (Sight *et al.*, 2005). El estado nutricional de las especies de mangle es distinto

e independiente de los atributos de los suelos en los que se encuentran, estas diferencias nutricionales están en concordancia con la calidad de los aportes que la biomasa de cada especie de mangle hace al suelo (Lang *et al.*, 2016).

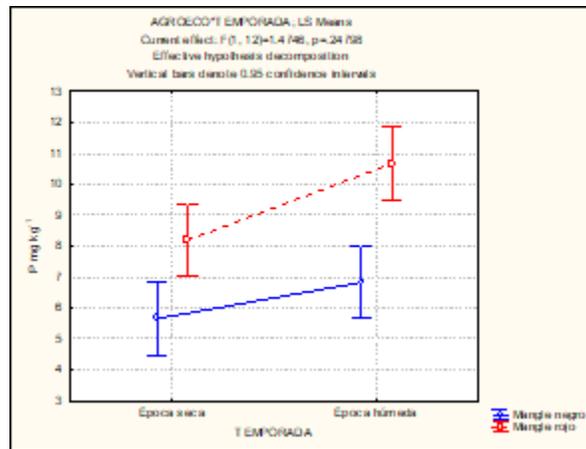


Figura 15: Comportamiento del fósforo en el agroecosistema mangle negro y mangle rojo en dos épocas del año.

4.3. Comportamiento de los componentes de la MO (carbono orgánico y soluble, ácidos húmicos y fúlvicos) en ecosistemas maduros de mangle rojo y negro

Los contenidos de MO en las épocas y ecosistemas fueron similares estadísticamente los de mangle rojo en sus dos épocas con mangle negro época húmeda, los porcentajes de materia orgánica (MO) se ubican como medios en mangle negro y altos en mangle rojo (NOM 021-2000), observándose en ambos ecosistemas un incremento de la MO en la época húmeda (Figura 16). La fertilidad de los suelos de mangle suele ser mayor en época húmeda, en razón de los aportes de limo y de la mineralización del mantillo (Lugo y Snedaker 1974; Middleton y Mckee 2001). Los suelos con mayor contenido de arcilla son capaces de almacenar más materia orgánica que los suelos más francos, la textura es un factor muy importante en el suelo, influye directamente en la dinámica del agua y los nutrientes derivados de la porosidad y la permeabilidad que están presentes en el suelo (Bjorn y McClaugherty, 2008). Bengtsson *et al.* (2003) mencionan que la variación en la biomasa microbiana y su actividad están relacionadas con la tasa de inmovilización y mineralización del N en suelo, durante la época de lluvias se considera que la acción microbiana incrementa, pudiendo explicar por qué se observa mayor contenido de los componentes de la MO en este periodo. Rashmi *et al.* (2012) encontraron una mayor población bacteriana nitrificante en la temporada seca en un manglar

tropical de la India, lo cual difiere de nuestros resultados; esto último puede ser explicado por tratarse de ambientes geográficos muy diversos. Kemmit *et al.* (2008) indican que la velocidad de mineralización de la MO no es proporcional con el tamaño, actividad o composición de la biomasa microbiana, pudiendo explicar porque la MO permanece constante durante ambas épocas, mientras que el Nt si difiere.

Los contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos fueron mayores durante la temporada húmeda (Figura 16 b y c) y para el ecosistema mangle rojo en esta época las concentraciones de estos ácidos de manera general, fue superior y diferente estadísticamente a los otros tratamientos. Los mayores contenidos de los componentes de la MO sugieren una mayor degradación de los compuestos orgánicos en este periodo (Sánchez-Arias *et al.*, 2010); sin embargo, de acuerdo a Olguín *et al.* (2007), durante el periodo de inundaciones es especialmente importante limitar la entrada de contaminantes al ecosistema, ya que la mayor presencia de ácidos húmicos y fúlvicos significa menor descomposición de hidrocarburos por las bacterias y micorrizas en agua y suelo de los manglares. En la Figura 16 d se muestra el comportamiento del carbono orgánico soluble en los dos ecosistemas de mangle y temporadas estudiadas, como en los otros componentes estudiados el valor más alto y diferente estadísticamente a los otros tratamientos lo presentó mangle rojo en temporada de lluvia. El carbono orgánico soluble se relaciona con el C más lábil de la materia orgánica y es metodológicamente sencillo de estimar (Ramos *et al.*, 2016). En suelos minerales de manglar los procesos de estabilización físico-química del carbono son muy importantes, aunque muy poco estudiados, en turba de manglar la inhibición de fenoloxidasas bajo la condición anóxica pueden ser los principales mecanismos de estabilización del carbono su inmovilización inducido por salinidad probablemente juega un papel en ambos tipos de suelos (Kida y Fujitake, 2020).

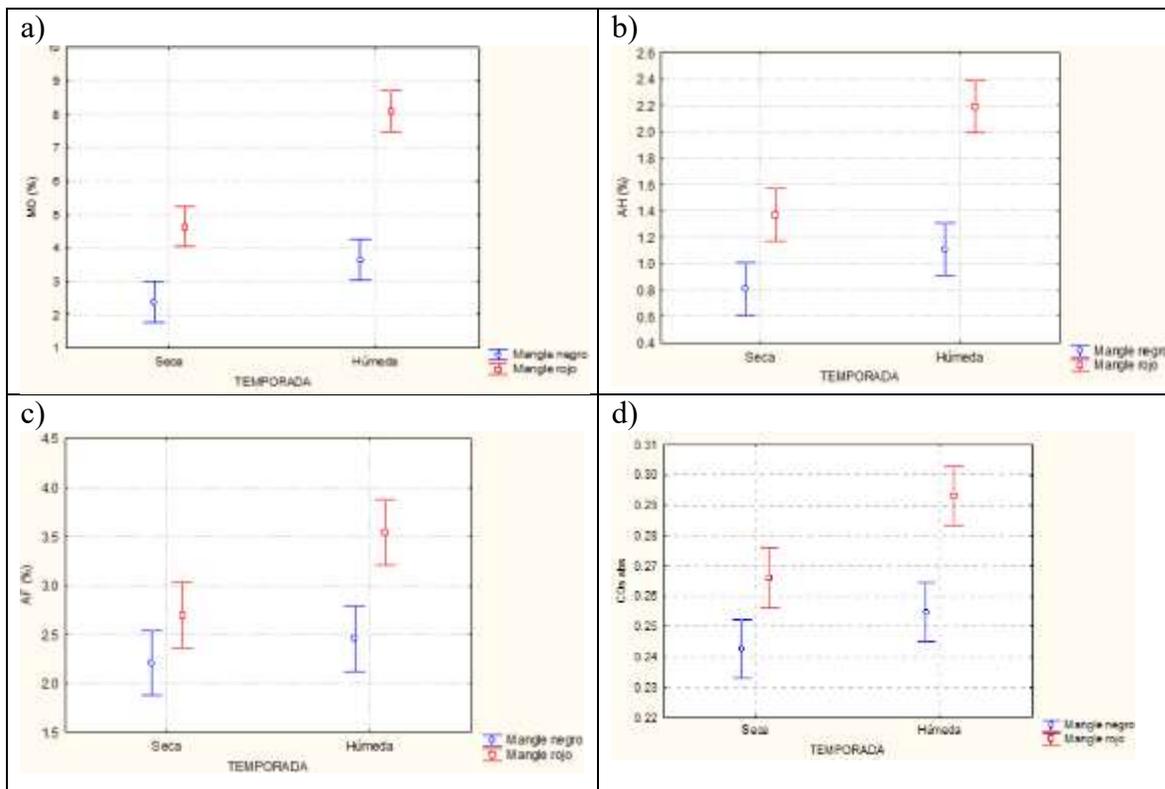


Figura 16: Análisis estadístico de MO y componentes del suelo los ecosistema *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo).

Caracterización de la vegetación de las dos comunidades de manglar

En la fecha en que se realizó el muestreo, las dos comunidades de mangle estudiadas estuvieron conformadas solo por las especies de las que reciben su nombre, se esperaba encontrar algo de flora acompañante pero no fue así, solo en el mangle rojo se observó un individuo inmaduro de la planta trepadora *Rhabdadenia biflora* (Jacq.) Müll.Arg.

En los 600 m² que fueron muestreados en cada comunidad se observó lo siguiente: la densidad en el mangle negro tuvo un promedio de 1,633 individuos por hectárea, siendo más alta que en el rojo, cuyo promedio apenas llegó a 633. Domínguez-Domínguez *et al.* (2011) reportaron en el estado de Tabasco que el mangle negro fue el de mayor talla, pero el más escaso en número de individuos; en la caracterización del manglar en dos localidades cercanas al área estudiada, ubicadas en el mismo municipio, indicaron una densidad menor, 308 y 237 árboles por hectárea para mangle negro y 279 y 175 para mangle rojo, valores menores a los registrados en este estudio. En cambio, Corella-Justavino *et al.* (2004) en

pantanos de Centla reportaron 1,109 y 774 árboles de mangle rojo y negro por hectárea, respectivamente. En manglares de Chiapas la densidad promedio fue de 2,915 individuos ha⁻¹, registrándose en los bosques menos densos 1,784 y 1,899 árboles ha⁻¹ (Estero Majahual y Buenavista-La Joya), los cuales estuvieron constituidos por arbolado juvenil-maduro de *A. germinans*, ubicados en sitios salinizados y con fuerte extracción de madera de *L. racemosa* (Tovilla-Hernández y Romero-Berny (2012).

En la Figura 6 se muestra la frecuencia de las clases diamétricas en los dos rodales de estudio, en el caso de *A. germinans* la distribución se caracterizó por presentar una mayor concentración de individuos en la primera categoría (2.5-4.9) con una tendencia a disminuir hacia las últimas clases. En cambio, el rodal de *R. mangle* mostró una distribución más homogénea entre las diferentes clases, siendo ligeramente más alta en la de <20 cm, los diámetros promedio para dichas comunidades fueron, respectivamente, 7.33 y 13.21 cm.

En este sentido, Corella-Justavino *et al.* (2004) encontraron la mayor densidad en la primera categoría en ambas especies. En cambio en el análisis de la estructura del manglar en Laguna Mecoacán, Domínguez-Domínguez *et al.* (2011) refirieron que para el Ejido Libertad 1ª Sección, el mangle rojo presenta una curva de distribución diamétrica cercana a la de Liocourt, es decir, que refleja una adecuada incorporación de individuos jóvenes y una progresiva disminución de éstos conforme crecen en edad y diámetro, mientras que para mangle negro presenta una escasez alarmante en individuos jóvenes y árboles que llegan a superar los 50 cm de diámetro, lo cual contrasta con nuestros resultados, que se acercan más a lo observado en el Ejido Campo Mecoacán, donde el mangle rojo, aunque es más escaso, tiene una distribución diamétrica muy equilibrada, llegando a alcanzar dimensiones considerables en la localidad; en tanto que el mangle negro tuvo una población juvenil adecuada para el tamaño de su población, siendo evidente que se respetaron muchos mangles negros de edad mayor.

En la superficie muestreada en los transectos se registraron además 22 árboles con diámetro menor a 2.5 cm en el ecosistema de mangle negro y 411 plántulas en el de mangle rojo.

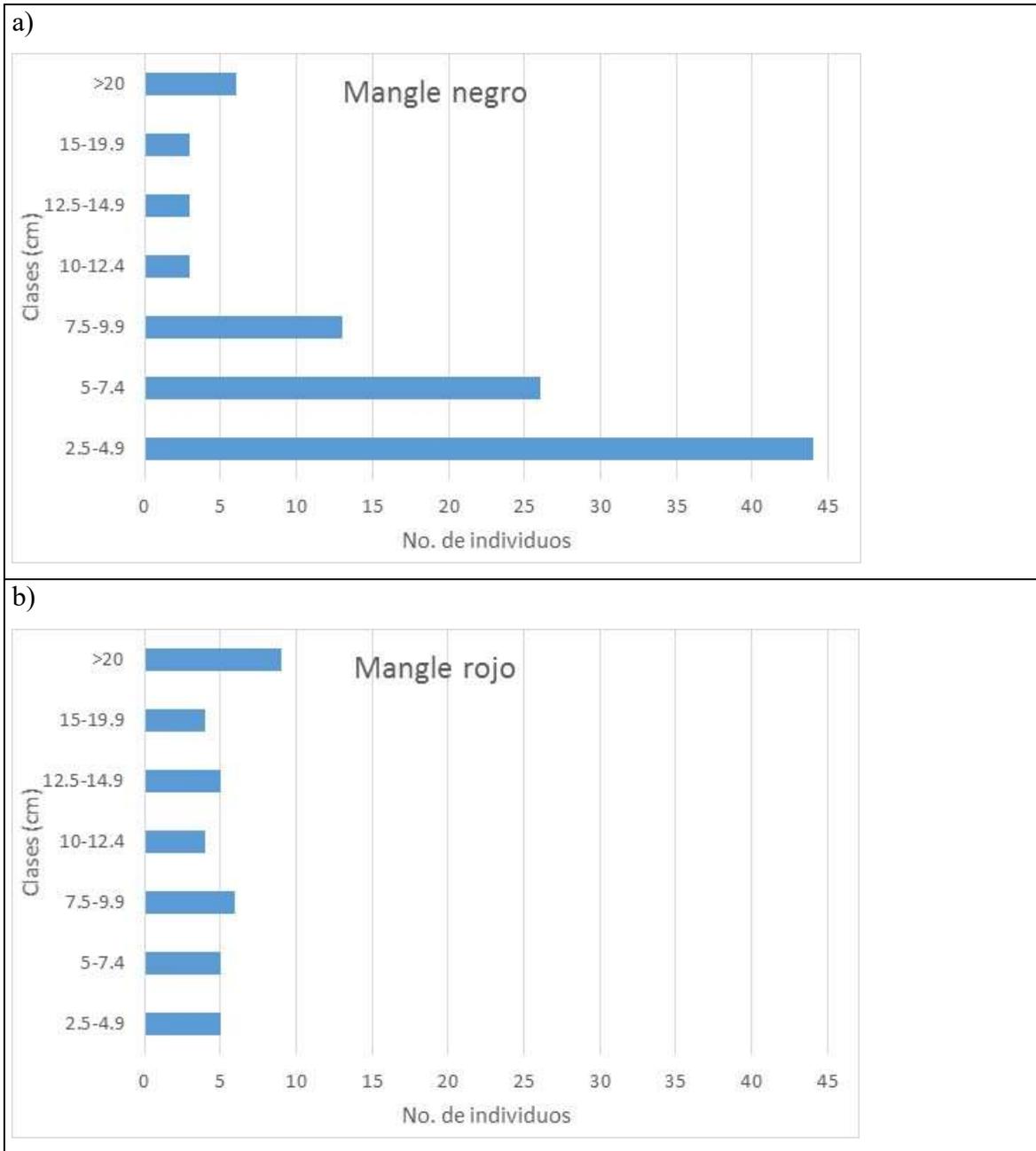


Figura 17: Distribución de árboles por clase diamétricas en dos ecosistemas maduros de mangle: a) mangle negro y b) mangle rojo en Paraíso, Tabasco.

Respecto a la altura de los árboles, en la Figura 17 se muestra su distribución en las dos comunidades estudiadas, donde se aprecia claramente una mayor talla en el mangle rojo, cuyo promedio fue de 17.6 m, en tanto que el mangle negro apenas alcanzó 13.88 m. La altura es un indicador del desarrollo de la estructura de un rodal, ya que una mayor altura está

relacionada con un mayor DAP, en Pantanos de Centla la especie que tuvo el mayor valor promedio en altura total fue *A. germinans*, seguida por *L. racemosa*, la de menor talla fue *R. mangle* (Corella-Justavino *et al.*, 2004), resultados que contrastaron con los de esta investigación, al igual que con los observados por Domínguez-Domínguez *et al.* (2011), quienes reportaron rangos de 12 a 19 m para mangle negro en Tabasco, con valores de 19 y 11 m para los Ejidos Libertad 1ª Sección y Campo Mecoacán, respectivamente; y rangos de 9 a 16 m para mangle rojo, y valores de 15 y 16 m para los mismos ejidos. Sánchez-Páez *et al.* (2004) considera que la altura en sí no es una limitante para su aprovechamiento; sin embargo, considera que árboles con alturas medias inferiores a 10 metros todavía no son rentables para su aprovechamiento, por lo que sugiere respetarlos y cuidar su crecimiento hasta que alcancen una altura adecuada.



Figura 18: Altura de los árboles en las comunidades de mangle estudiadas.

El diámetro y la altura de un bosque permiten conocer el grado de madurez y desarrollo arquitectónico de la vegetación. Mientras que el Área Basal (AB) es un factor que cuantifica el área en m^2 que ocupa el arbolado en una hectárea y cuyo valor se incrementa de los bosques juveniles a maduros y de éstos a los seniles. En los manglares estudiados el área basal de la comunidad de mangle negro fue de $11.71 m^2 ha^{-1}$ en tanto que para el mangle rojo fue de $11.45 m^2 ha^{-1}$ en especies juveniles. A este respecto, Tovilla-Hernández y Romero-Berny

(2012) encontraron que el manglar más robusto en la costa de Chiapas se registró en la zona núcleo de la Reserva La Encrucijada, donde algunos mangles rojos alcanzaron DAP de más de 70 cm, más de 40 m de alto y más de 69 m² ha⁻¹ de AB, sin embargo, en Mar Muerto y Buenavista-La Joya apenas alcanzaron 8.9 cm, 5.9 m y 9.4 m² ha⁻¹, respectivamente; en tanto que en Oaxaca los valores más altos de *R. mangle* se cuantificaron en Manialtepec-Cacalotepec con AB de 49.18 m² ha⁻¹ y 17.3 m de altura. Para los manglares del estado de Tabasco, Domínguez-Domínguez *et al.* (2011), registran un valor promedio de AB de 10.8 m² ha⁻¹, Los valores registrados en los muestreos realizados en el Ejidos Libertad 1^a Sección varían de 2 a 79.3 y en Campo Mecoacán de 3.4 a 100 m² ha⁻¹.

Soto & Jiménez (1994) mencionan que la distribución de las especies de mangle presenta una estrecha relación con el gradiente de salinidad en el suelo. Las especies del género *Rhizophora* crecen principalmente a la orilla del canal, donde la salinidad del suelo promedio es 57,5% o menos. Estas especies, sin embargo, se ven expuestas a salinidades hasta de 780 /00 *ups* en algunas épocas del año. *A. germinans* crece principalmente en suelos más salinos y más alejados de los canales: se le encontró creciendo en salinidades hasta de 1 55 0/00 *ups*, aunque el promedio anual fue de 1 00.50/00 *ups*.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

El suelo de los ecosistemas de manglar correspondió a Solonchak móllico gléyico hístico “Arcillo-sódico” en el caso del mangle negro y Solonchak gléyico (Arcílico, Hístico Húmico Hipersálico) para mangle rojo.

El diagnóstico nutrimental evidenció que el mangle rojo presentó valores más altos que el mangle negro en los parámetros relacionados con la fertilidad del suelo, y que la época del año influye en el flujo de nutrientes de cada ecosistema de mangle, observándose una mayor velocidad en los niveles de asimilación de nutrientes en *R. mangle*, mientras que en *A. germinans* el proceso es más lento, probablemente debido a que el primero tiene periodos de inundación más prolongados.

En el ecosistema de mangle rojo se observó un mayor porcentaje de materia orgánica en época húmeda, y en ambas se obtuvieron valores altos. En los dos ecosistemas los contenidos de ácidos fúlvicos, húmicos y carbono orgánico soluble fueron superiores en la temporada húmeda, sugiriendo una alta actividad microbiana de descomposición de materia orgánica.

La densidad de árboles fue mayor en el ecosistema de mangle negro, pero su distribución diamétrica se concentró en la clase 2.5-4.9 cm, con una tendencia a disminuir hacia las últimas; aunque la densidad en el mangle rojo fue menor, su distribución diamétrica fue más homogénea y mayor en la clase de <20 cm, reflejando la presencia de árboles de mayor talla y una adecuada incorporación de individuos jóvenes.

Los análisis generados indican que la vegetación y el tipo de especie influyen en los resultados nutricionales del suelo, debido a que cada uno cumple una función específica en los ecosistemas que provee de un buen desarrollo de las especies de mangle.

CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA

- A. Bautista Cruz, J. Etchevers-Barra, R.F. del Castillo, C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*. 13 (2):90-97.
- Adame, M. F., Brown, C., Bejarano, M., Silveira, J., Ezcurra, P., Kauffman, J. et al. (2018). The undervalued contribution of mangrove protection in Mexico to carbon emission targets. *Conservation Letters*, 11, 1–9.
- Agráz-Hernández, C.M. Noriega-Trejo, R.; López-Portillo, J.; Flores-Verdugo, F.J.; Jiménez-Zacarias, J.J., 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- Agráz-Hernández, C.M. y F.J. Flores-Verdugo. 2005. Diagnóstico del impacto y lineamientos básicos para los programas de mitigación y manejo de humedales, p. 597- 608. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Golden-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da. Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195-219.
- Amador-Lorenzo, E.L. 2019. Manglar. In: [www. hppt//ecured.cu/manglar](http://www.hppt//ecured.cu/manglar). Consultado 23/06/2020.
- Armida-Alcudia, L., Espinoza-Victoria D., Palma-López D.J., Galvis-Spinola A., Salgado-García S. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad en vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamérica* 23(3): 545-551.
- Barba-Macías, E., Rangel-Mendoza, J., Ramos-Reyes.R., 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfico. *Universidad y ciencia*. 22(2):101-110.
- Beever, J.W. III; D. Simberloff y L. King. 1979. Herbivory and predation by the mangrove tree crab *Aratus pisonii*. *Oecologia* 43:317-28.
- Bengtsson, G., Bengtson, P., & Mansson. K. F. 2003. “Gross nitrogen mineralization-immobilization and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial

- activity,” *Soil Biology and Biochemistry* 35: 143-154 pp.
- Bjorn, B., & McClaugherty, C. (2008). *Plant Litter*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer.
- Brady N. and R. Weil. 2008. *The nature and properties of soils*. 14th ed. Pearson-Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 975 p.
- Bremer, G.B. 1995. Lower marine fungi (Labyrinthulomycetes) and the decay of mangrove leaf litter. *Hydrobiologia* 295(1-3): 89-96.
- Camilleri J., C. y G. Ribbi. 1983. Leaf thickness of mangroves (*Rhizophora mangle*) growing in different salinities. *Biotropica* 15(2):139-141.
- Castellanos-Martínez, M.L. 2009. *Tensores edafológicos que condicionan la disponibilidad de nutrientes para el mangle en ambientes semiáridos*. Tesis de doctorado, Universidad nacional de Colombia, Colombia. 219 pp.
- Chandra, L.R., Gupta S., Pande V., Singh N. 2016. Impact of forest vegetation on soil characteristics: a correlation between soil biological and physico-chemical properties. *3 Biotech*. 6(2): 188.
- CONABIO. 2008. *Manglares de México*. 33 p. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimientos/manglares/doctos/manglares>. Fecha de consulta: 10 de abril 2020.
- CONABIO. 2009. *Mangle negro*. Fichas de Especies Mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. Compilado por Elizabeth Torres Bahena; Revisado por Carlos Galindo Leal. Marzo 2009.
- Corella-Justavino, F., J.I. Valdez-Hernández, V.M. Cetina-Alcalá, F.V. González-Cossío, A. Trinidad-Santos y J.R. Aguirre-Rivera. 2004. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Revista Ciencia Forestal en México* 26(90): 73-102.
- Cuanalo de la C.H. 1990. *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo*. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- Cundell, A.M.; M.S. Brown; R. Stanford y R. Mitchell. 1979. Microbial degradation of *Rhizophora mangle* leaves immersed in the sea. *Estuarine and Coastal Mar. Sci.* 9:281-286.
- Daniel, T.F. 2016. *Avicennia* (Acanthaceae: Avicennioideae) in North America and Mesoamerica. *Proceeding of the California Academy of Science*, 63 (5): 163-189.

- Darwich, N. 1998. Manual de la fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. Editorial INTA. Mar de Plata. 185 p.
- Das S., De M., Ganguly D., Maiti T.K., Mukherjee A; Jana T.K., and De T.K. 2012. Depth integrated microbial community and physico-chemical properties in mangrove soil of Sundarban. Indian Adv. Microbiology, 2: 234-240.
- De Jong, B.H.J.; Ochoa-Gaona, S.; Castillo-Santiago, M. A.; Ramirez-Marcial N.; Cairns M. A. 2000. Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva Lacandona, Mexico. *Ambio* 29: 504-511.
- Domínguez-Domínguez M., J. Zavala-Cruz, 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. 137 p.
- Domínguez-Domínguez, M., J. Zavala-Cruz, A. Galmiche-Tejeda, P. Martínez-Zurimendi, N. Solana-Villanueva y J. Pereyra-Alfárez. 2009. Estudio para el manejo sustentable de los manglares de la zona costera del estado de tabasco. Informe final del proyecto. SERNAPAM-Colegio de Postgraduados. 635 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. The World's Mangroves 1980-2005. V. 153. FAO. Roma. 82p.
- Fell, J.W. e I.M. Master. 1974. Fungi associated with the degradation of mangrove R. mangle, leaves in south Florida. In: H.L. Stevenson y R.R. Colwell (Eds.). Estuarine microbial ecology. University of South Carolina Press. Columbia. 455-466.
- Feller, I. 1995. Effects of nutrient enrichment on growth and herbivory of dwarf red mangrove (*Rhizophora mangle*). *Ecological Monograph* 65(4): 477-505.
- Fenchel, T. 1970. Studies on the decomposition of organic detritus derive from turtle grass *Thalassia testudinum*. *Limnol. Oceanogr.* 15(1):14-20.
- Fernandes, S.O., Michotey, V. D., Guasco, S., Bonin, P. C., LokaBharathi, P.A. 2012. Denitrification prevails over anammox in tropical magroves sediments. Goa, India. *Mar environ res* 74:9-19.
- Ferreira T.O., Vidal-Torrado P., Otero X.L., y Macias F. 2007. ¿Los sustratos de los manglares son sedimentos o suelos? Un estudio de caso en el sureste de Brasil. *Catena*, 70:79-91.

- Fitzpatrick E.A. 1987. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Editorial Continental S.A. de C.V. México D.F. 430 p.
- Flores-Verdugo, F.J, Gonzales-Farías, F, Zamorano, D.S, y Ramirez, P.G. 1987. Mangrove ecosystem of the pasific of mexico: distribution structure litterfall, and destritus dynamics. Coastal plan communities of latin America, academyc press. Inc: 269-288 pag.
- Fulai, S. 1997. Public environmental expenditures: A conceptual Framework macroeconomics for sustainable development program office (MPO). World Wide Fund for Nature. 47 pp. Consultado en: [http:// www.panda.org/mpo/](http://www.panda.org/mpo/).
- Galaviz S., A., M. Gutiérrez E. y A. Castro R., 1987. Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 14 (2): 109-123.
- Gallardo-Lancho J. F. 2016. “La materia orgánica del suelo, residuos orgánicos, humos, compostaje y captura del carbono. Sociedad iberoamericana de física y química ambiental”. Editorial SiFyQA, Salamanca, España. I.S.B.N.: 978-84-937437-7-2. 392 pp.
- Goncalves R.C.R, Bielefeld N.G, Silva R.O. 2017. Global overviews on nitrogen dynamics in mangroves and consequenses of increasing nitrogen avalaibility for these systems. Plant soil, 410:1-19.
- González, F., Nelson Díaz, J. &Lowry, P. (1995). Flora Ilustrada de San Andrés y Providencia: 1-281. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Colombia
- Gonzalo, A.F.J., González-Vila, J.A. González-Pérez, H.K. & De La Rosa J.M. 2010. Protocolos y técnicas analíticas e instrumentales para evaluar el impacto del fuego sobre la materia orgánica del suelo. Universidad de Valencia, España.521 pp.
- Guo, X., Meng M., Zhang J., Chen H.Y.N. 2016. Vegetation change impacts on soil organic carbón chemical composition in subtropical forests. Sci. Rep. 6: 1.
- Heald, E.J. 1969. The production of organic detritus in a South Florida estuary. Univ. Miami. Sea Grant Tech. Bull. 6. 110 p.
- Hossain M.Z., Aziz C.B., y Saha M.L. 2012.Relaciones entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los recuentos bacterianos viables totales en los manglares de Sunderban,

- Bangladesh. Dhaka Univ. Journal Biology Society, 21:169-175.
- Hossain, M.D., & Nuruddin, A.A. (2016). Soil and mangrove: a review. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9: 198-207.
- Ibáñez J. J. y Manríquez C. F. J. 2013. Solonchaks (WRB). Suelos Salinos un Universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/12/17/144776>. Consultado 09/10/2020.
- IPIECA. 1993. Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos de manglares. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. Londres. 20 p.
- Kauffman, J.B. & Cole T. 2010. Micronesian mangrove forest structure and tree response to a severe typhoon. *Wetlands* 30(6): 1077-1084.
- 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. CIFOR. Bagor, Indonesia. 47 p.
- Kemmitt, S.J., Lanyon, C.V., Waite, I.S., Wen, Q., Addiscott, T.M, Bird, N. R. A., O'Donnell, A.G., and Brookes, P.C. 2008. "Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass- a new perspective." *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 40, pp. 61-73.
- Kida M. and Fujitake N. 2020. Organic Carbon Stabilization Mechanisms in Mangrove Soils: A Review. *Forests* 11, 981; doi:10.3390/f11090981.
- La Manna, L., Buduba. C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C. y Irisarri J. Comparación de métodos analíticos para la determinación de M.O en suelos de la región Andino-Patagónica: Efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *CI. Suelo (Argentina)*, 25:179-188 (2007).
- Lewis, R.R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological engineering* 24: 403-418. [LiteratureAttachments/14ecol-eng-mangrove-rest-lewis-2005.pdf](#).
- López-Portillo G. J. A., 1982. Ecología de manglares y de otras comunidades de halofitas en la costa de la laguna de Mecoacán, Tabasco. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 160 p.

- Lopez-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de Mexico: una revision. *Madera y Bosques*. Numero especial: 27 – 51.
- Lugo, A. E., & Snedaker, S. C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 5, 39-64
- Middleton, BA; Mckee, K. L. 2001. Degradation of mangrove tissues and implications for peat formation in Belizean island forests. *Journal of Ecology*, 89, 818-828.
- Moreno A.N.M. y Calderón J.H.M. 2011. Cuantificación de materia orgánica y caracterización fisico-química del suelo de manglar en la Bahía Hooker, Isla San Andrés-Colombia. Actas de la Conferencia Global sobre Calentamiento Global, 11-14 de julio de 2011, Lisboa, Portugal, pp: 1-7.
- Mostacedo, B. y T.S. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto BOLFOR, Proyecto de Manejo Sostenible. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Olguín, E.J., Hernández, M.E., & Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3): 139-154.
- Onuf, C.P.; J.M. Teal e I. Valiela. 1977. Interactions of nutrients, plant growth and herbivory in a mangrove ecosystem. *Ecology* 58:514-526.
- Otero, XL; Calvo de Anta, RM; Macías, F., 2009. Iron geochemistry under mussel rafts in the Galician ria system (Galicia-NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 83-93.
- Palma-López D. J.; Cisneros D.E.; Moreno C.E y Rincón-Ramírez J.A. 2007. Suelos de Tabasco: Su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FRUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 194 p.
- Perry, C. L., Mendelssohn, I. A. 2009. Ecosystem effects of expanding populations of *Avicennia germinans* in a Louisiana salt marsh. *Wetlands*, 29(1), 396–406.
- POWO (Plants of the World online) 2021. *Rhizophora mangle* L. Kew Species Profiles. Kew Sciences. <http://powo.science.kew.org/taxon/30061148-2>. Consultado el 22/03/2021
- POWO 2021 *Rhizophora mangle* L. Kewscience, Plants of the World Online. URL: <http://powo.science.kew.org/taxon/30061148-2> Consultado: 10/04/21

- Purnobasuki H. 2013. Characteristics of Root Caps in Four Root Types of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *American Journal of Plant Sciences*, 4:853-858
- Quiroga, A., A. Bono, & I. Frasier. 2012. Materia orgánica del suelo. En: Quiroga, A. & A. Bono (ed). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos edición 2012*. Editorial INTA, La Pampa, Argentina. pp: 26-38.
- R. Dinesh, S.G. Chaudhuri, A.N. Ganeshamurthy, and S.C. Pramanik. 2004. "Biochemical properties of soils of undisturbed and disturbed mangrove forests of South Adaman (India)," *Wetlands Ecology and Manangement*, vol. 12: 309-320.
- Rambok E., Gandaseca S., Ahmed O.H., y Majid N.M.A 2010. Comparación de las propiedades químicas del suelo seleccionadas de dos bosques de manglares diferentes en Sarawak. *A.m. Journal Environmental Society*, 6: 438-441.
- Ramos-Álvarez, C. Obrador-Olán, J.J. García-López, E. Pérez-Flores, J Carrillo-Ávila, E 2016. Efecto del encalado en la materia orgánica del suelo en un sistema agroforestal. *Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 12*, pp: 28-33.
- Rashmi, R. M., Manas, R. S., Tushar, K. D., and Hrudayanath. T. 2012. "Diversity and seasonal fluctuation of predominant microbial communities in Bhitarkanika, a tropical mangrove ecosystem in India," *Rev. Biol. Trop.*, vol. 60(2), pp. 909-924.
- Rico-Gray, V. 1981. *Rhizophora harrisonii* (Rhizophoraceae) un nuevo registro para las costas de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 41:163-166.
- Rico-Gray, V. y A. Lot-Helgueras. 1983. Producción de hojarasca del manglar de la Laguna de la Mancha. *Biótica* 8(3):295-301.
- Romero I.C, Jacobson M, Fuhman J.A, Foguel M, Capone D.G. 2012. Long-term nitrogen and phosphorus fertilization effects on N₂ fixation rates and nifH community patterns in mangrove sediments. *Mar Ecol* 33:117-127.
- Sánchez-Arias, L.E., Paolini, J., & Rodríguez, J.P. (2010). Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) en Isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(2): 547-564.
- Sánchez-Páez, H., G.A. Ulloa-Delgado y H.A. Tavera-Escobar. 2004. Manejo integral de los manglares por comunidades locales Caribe de Colombia. Proyecto Pd 60/01 Rev. 1 (F). Bogotá, Colombia. 335 p.

- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestre – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, miércoles 6 de marzo 2002. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 85 p.
- Sheridan, R.P. 1992. Nitrogen fixation by epicaulous cyanobacteria in the pointe de la saline mangrove community, Guadeloupe, French west indies. *Biotropica* 24:571-574.
- Sierra-Correa, P.C., 2007. Caracterización y zonificación de los manglares del municipio de Timbiquí, y departamento del Cauca. Instituto de investigaciones marinas y costeras “José Benito Vives de Andreis”. Colombia. 127 pp.
- Sitoe, A., Comissario, L. y Guedes, B. (2014). Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove forests. *Forests*, 5, 1967–1981.
- Sobrado, M. A. 2009. Leaf photosynthesis of the mangrove *Avicennia germinans* as affected by NaCl. *Photosynthetica*, 36(4), 547–555.
- Soto, R. y J.A. Jiménez. 1994. Análisis fisonómico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y LiInnología, Universidad de Costa Rica y Museo Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica. América Central.
- Southwell, C.R. y J.D. Boltman. 1971. Marine borer resistances of untreated woods over long perids of immersion in tropical waters. *Biotropica* 3:81-107.
- Steinkey, T.D. y L.M. Charles. 1983. Degradation of mangrove leaf and stem tissues in situ in Mgeni Estuary, South Africa. 141-150. In: Teas, H.J. (Ed.). *Biology and ecology of mangroves*. Dr. W. Junk Publishers. 25-36.
- Suárez, N., Medina, E. 2005. Salinity effect on plant growth and leaf demography of the mangrove, *Avicennia germinans* L. *Trees*, 19(6), 722-728.
- Sukardjo S. 1994. Suelos en los bosques de manglares de la Reserva Natural de Apar, Tanah Grogot, Kalimantan Oriental, Indonesia. *Stud del sudeste asiático*, 32: 385-398.
- Thibodeau F. R. and Nickerson N. H. 1986. Differential oxidation of mangrove substrate by *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle*. *American Journal of Botany*, 73(4): 512-516.
- Tovilla- Hernández, C. 1998. Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos

- socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoanapa, Guerrero, México. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias. UNAM. México. 395 p.
- Tovilla-Hernández, C. y E.I. Romero-Bermy. 2012. Diagnóstico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca. En: Sánchez, A.J. X. Chiappa-Carrara y R. Brito-Pérez (editores). Recursos acuáticos costeros del sureste Vol. I. Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Yucatán, Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste y Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica Sisal. p. 257-279.
- Ulken, A. 1984. The fungi of the mangal ecosystem. In: Dov, P.F. e I. Dor (eds) Hydrobiology of the Mangal. Dr. W. Junk Publishers. The Hague. 27-34
- Velázquez-Pérez, C., C. Tovilla-Hernández, E. I. Romero-Bermy & A.de Jesús-Navarrete, 2019. Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. Madera y Bosques 25(3): 2531885.
- Viñals, M.J. (coord.) 2002. El patrimonio cultural de los humedales. Ministerio de Medio Ambiente. Valencia, España. 272 p.
- Wolansky E.M. 1994. Physical oceanography processes in the great barrier reef. CRC Press, Boca Raton, Florida. 144 pg.
- WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Grupo de Trabajo IUSS de la World Reference Base for soil research. FAO, Roma. 355 p.