



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**Respuesta de adaptación del mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en la
costa de Tabasco**

LAURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

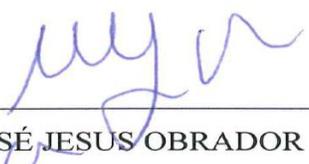
2015

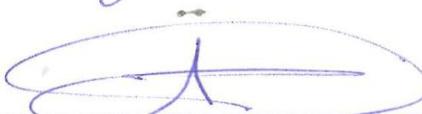
La presente tesis titulada: **Respuesta de adaptación del mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en la costa de Tabasco**, realizado por el alumno Lauro González Hernández, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. ÁNGEL SOL SÁNCHEZ

ASESOR: 
DR. JOSÉ JESUS OBRADOR OLAN

ASESOR: 
DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

H. Cárdenas, Tabasco 30 de Enero de 2015

RESUMEN

Respuesta de adaptación del mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en la costa de Tabasco.

Lauro González Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Palabras claves: Reforestación, sobrevivencia, crecimiento, mangle negro.

El objetivo de esta investigación fue cuantificar la sobrevivencia de mangle negro *Avicennia germinans* L., patrones de mortalidad y crecimiento de las plantas en áreas reforestadas en el Ejido Las Coloradas, Cárdenas, Tabasco. La plantación fue establecida en junio del 2012 en una superficie de 50 ha. En tres ambientes (1: Zona inundada Zi; 2: Zona de marea baja Zmb y 3: Zona de libre fluidez del agua Zlfa), en cada ambiente se ubicaron al azar tres sitios de monitoreo de 500 m². Las variables evaluadas fueron sobrevivencia y patrones de mortalidad, altura de planta (h), superficie de copa (sc), diámetro de cuello (dc), número y altura de neumatóforos (nn, an). Se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tukey, P 0.05) respecto al porcentaje de sobrevivencia entre tratamientos. La prueba de medias de Tukey identificó dos grupos (A y B) con un $\alpha = 0.05$. El grupo A corresponde al ambiente a Zmb con un 67.7 % de sobrevivencia, y el grupo B a los ambientes Zi y Zlfa, con 0 % y 5.5% de sobrevivencia, respectivamente. Los patrones de mortalidad no mostraron diferencias estadísticas significativas. En crecimiento no se registró diferencias estadísticas significativas. La Zmb de plantación reforestada tuvo un crecimiento de (h: 27 cm, sc1: 16.3 cm, sc2: 15.9 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.8 cm y nn: 13). En el ambiente Zlfa se tuvo un crecimiento de (h: 7.2 cm, sc1: 13.3 cm, sc2: 8.7 cm, dc: 0.2 cm, an: 4.3 y nn: 5.1). La regeneración natural en el ambiente Zmb mostró un crecimiento de h: 30.1 cm, sc1: 21.8 cm, sc2: 21.3 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.2 cm y nn: 5.3 cm. Se concluye que la sobrevivencia y crecimiento del mangle negro en áreas reforestadas o poblaciones de regeneración natural se ven favorecidas cuando existe un menor tiempo de inundación.

ABSTRACT

Respuesta de adaptación del mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en la costa de Tabasco ingles.

Lauro González Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Key words: Reforestation, survival, growth, black Mangrove.

The objective of this research was to quantify the survival of black mangrove *Avicennia germinans* L., mortality patterns and plant growth in the reforested areas in the Ejido Las Coloradas, Cardenas, Tabasco areas. The plantation was established in June 2012 in an area of 50 ha. At three sites (1: flooded zone Zi, 2: Zone tide Zmb and 3: Zone free flowing water Zlfa) in each environment monitoring three sites were randomly located 500 m². The variables evaluated were survival and mortality patterns, plant height (h), canopy surface (sc), diameter of the neck of the plant (dc), number and height of pneumatophores (nn, an). Significant statistical differences were found (Tukey, P 0.05) in the percentage of survival between treatments. The Tukey test identified two groups (A and B) with an alpha = 0.05. Group A correspond to a Zmb environment with 67.7% survival, and the Zi and B Zlfa group environments, with 0% and 5.5% survival, respectively. Mortality patterns showed no statistically significant differences. The growth was not statistically different. The Zmb reforestation plantation grew by (h: 27 cm, sc1: 16.3 cm, sc2: 15.9 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.8 cm and nn: 13). In the environment Zlfa growth (h: 7.2 cm, sc1: 13.3 cm, sc2: 8.7 cm, dc: 0.2 cm, an: 4.3 cm and nn: 5.1) were reported. Natural regeneration in the Zmb environment showed a growth h: 30.1 cm, sc1: 21.8 cm, sc2: 21.3 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.2 cm and nn: 5.3. We conclude that the survival and growth of black mangrove reforestation areas or populations of natural regeneration is favored by the short time flood.

DEDICATORIA

A mis Padres Antonia Hernández Gómez y Santos González González, por todos sus apoyos brindados.

A mi esposa Adriana del C. Ríos Hernández por su apoyo y compañera en el trayecto de mi vida y mi hija Adriana L. González Ríos que motiva en todo momento.

A toda mi familia numerosa que ayudan de manera directa e indirecta los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, Él creador de todas las cosas, por darme el privilegio de la vida, la salud y las bendiciones y por este logro.

Al pueblo de México que a través de sus impuestos y empresas privadas, que apoyan las investigaciones científicas, para generar información para beneficio social y ambiental.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Institución Gubernamental, encargada a impulsar las investigaciones en los distintos ámbitos de la ciencia, a través de recursos públicos, como la beca que fue otorgado a mi persona.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco por haberme permitido realizar mi estudio en Maestría en Ciencias en producción Agroalimentaria en el Trópico y a los Doctores que participaron en mi formación académica y el apoyo brindado durante estos dos años.

A la línea 8, “Impacto y mitigación del cambio climático del Colegio de Postgraduados, por las facilidades brindadas para el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Ángel Sol Sánchez como consejero por todo su apoyo durante la realización de este trabajo de investigación y sugerencias para mejorar la presente tesis de investigación.

Al Dr. José J. Obrador Olan como asesor por todo apoyo y su colaboración durante el proyecto de investigación sus comentarios y sugerencias sobre este documento.

Al Dr. Arturo Pérez Vázquez como asesor externo por todo su apoyo y su tiempo dedicado en las correcciones y sugerencias del presente documento.

Al Dr. Joaquín A. Rincón Ramírez por su apoyo en la elaboración del documento cartográfico del área de estudio.

A los señores, Francisco y Asunción que me apoyaron en la toma de datos en campo y por compartir sus experiencias sobre el ecosistema manglar.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN..... | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| ANEXOS..... | ix |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Distribución mundial y nacional de manglar..... | 3 |
| 2.2 Características y clasificación del ecosistema de manglar | 4 |
| 2.3 Importancia del ecosistema de manglar | 7 |
| 2.3.1 Beneficios ecológicos..... | 7 |
| 2.3.2 Beneficios económicos..... | 9 |
| 2.3.3 Beneficios sociales..... | 10 |
| 2.4 Problemas ambientales y su impacto en el ecosistema manglar..... | 11 |
| 2.5 Estrategias para la restauración del ecosistema de manglar | 13 |
| 2.5.1 Reforestación y restauración | 13 |
| 2.6 Efecto de los factores edafoclimáticos relacionados con la vegetación de manglar | 14 |
| 2.6.1 Salinidad | 14 |
| 2.6.2 Tipos de suelos..... | 15 |
| 2.6.3 Temperatura (agua y ambiente) | 16 |
| III. OBJETIVOS..... | 17 |
| 3.1 General | 17 |
| 3.2 Específicos..... | 17 |
| IV. HIPÓTESIS | 17 |
| 4.1 General | 17 |
| 4.2 Particulares | 17 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 18 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.1 | Área de estudio | 18 |
| 5.2 | Selección de la unidad de muestreo | 18 |
| 5.3 | Diseño experimental | 20 |
| 5.4 | Sitios de muestreo | 20 |
| 5.5 | VARIABLES A REGISTRAR | 21 |
| 5.6 | Sobrevivencia y mortalidad | 22 |
| 5.7 | Crecimiento de las plantaciones y regeneración natural | 22 |
| 5.8 | Presencia de neumatóforos | 23 |
| 5.9 | Porcentaje de luz en los sitios de muestreo | 24 |
| 5.10 | Características del suelo | 24 |
| 5.11 | Profundidad del agua | 24 |
| 5.12 | Análisis estadísticos | 25 |
| VI. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 26 |
| 6.1 | Sobrevivencia de plantaciones reforestadas | 26 |
| 6.2 | Patrones de mortalidad de plantaciones reforestadas | 27 |
| 6.3 | Patrones de mortalidad de poblaciones de regeneración natural | 28 |
| 6.4 | Crecimiento de plantaciones reforestadas | 29 |
| 6.5 | Crecimiento de población natural regeneración natural | 30 |
| 6.6 | Porcentaje de luz | 31 |
| 6.7 | Propiedades físicas y químicas del Suelo | 32 |
| 6.8 | Profundidad del Agua | 34 |
| VII. | SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE MANGLE NEGRO (<i>AVICENNIA GERMINANS</i> L.) EN PLANTACIONES REFORESTADAS Y REGENERACIÓN NATURAL | 35 |
| 7.1 | INTRODUCCIÓN | 37 |
| 7.2 | MATERIALES Y MÉTODOS | 40 |
| 7.3 | RESULTADOS | 43 |
| 7.4 | DISCUSIÓN | 47 |
| 7.5 | CONCLUSIONES | 50 |
| 7.6 | AGRADECIMIENTO | 50 |
| 7.7 | LITERATURA CITADA | 51 |

| | | |
|-------|------------------------|----|
| VIII. | CONCLUSIONES..... | 56 |
| IX. | RECOMENDACIONES..... | 56 |
| X. | LITERATURA CITADA..... | 57 |
| XI. | ANEXO..... | 67 |

LISTA DE CUADROS

| | | |
|-----------|--|----|
| Cuadro 1. | Zonas de manglares en el mundo (Spalding <i>et al.</i> , 2010)..... | 3 |
| Cuadro 2. | Distribución y superficie de manglar en México en el año 2010 (Rodríguez <i>et al.</i> , 2013) | 4 |
| Cuadro 3. | Variables registradas en la caracterización de plantas de reforestación y regeneración natural..... | 21 |
| Cuadro 4. | Incrementos de las variables de la planta..... | 30 |
| Cuadro 5. | Radiación solar en los tres ambientes, en nm m ² s..... | 31 |
| Cuadro 6. | Propiedades físicas y químicas del suelo..... | 33 |
| Cuadro 7. | Profundidad del agua en cm en los diez meses de monitoreo..... | 34 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Ubicación geográfica del área de estudio..... | 19 |
| Figura 2. | Diseño de los sitios de muestreo..... | 21 |
| Figura 3. | Diseño de toma de datos de los neumatóforos..... | 23 |
| Figura 4. | Porcentaje de sobrevivencia en plantaciones reforestadas..... | 27 |
| Figura 5. | Patrón de mortalidad en los tres tipos de ambientes en plantaciones reforestadas.... | 28 |

ANEXOS

| | | |
|----------|---|----|
| Anexo 1. | Foto de Inters larvarios de la Oruga de <i>Anacamptode</i> sp (Sol <i>et al.</i> , 2012)..... | 67 |
| Anexo 2. | Foto 6 meses después de la presencia de la plaga (Sol <i>et al.</i> , 2012). | 67 |
| Anexo 3. | Cuadro de coordenadas de los sitios de monitoreo permanente..... | 68 |
| Anexo 4. | Foto de la Zona de marea baja estacional (Zmb)..... | 68 |
| Anexo 5. | Foto de la Zona de libre fludez del agua (Zlfa)..... | 69 |
| Anexo 6. | Foto de la Zona inundada (Zi)..... | 69 |

I. INTRODUCCIÓN

Los manglares es un tipo de vegetación característico de las costas tropicales y subtropicales del planeta, ubicándose en la zona de convergencia entre el mar y la tierra. Estos ecosistemas están conformados por plantas y animales. Las primeras tienen una serie de adaptaciones fisiológicas que les permite crecer y desarrollarse en terrenos frecuentemente inundados con aguas hipersalinas (Carrillo *et al.*, 2008). A nivel mundial existe un total de 73 especies de mangle entre árboles y arbustos grandes (Chan *et al.*, 2012).

En México predominan cuatro especies de mangle, siendo estos: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Ga-erth.), mangle negro (*Avicennia germinans* L.) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.), que mantienen el equilibrio e integridad del ecosistema de manglar y brindan servicios ambientales de importancia ecológica y social (CONABIO, 2008). Las costas del estado de Tabasco abarcan una superficie de 41,498.5 ha, que corresponde 32.8% al mangle rojo, 28% al mangle negro, 26.7% al mangle blanco y mangle botoncillo y las asociaciones de mangle 11.7% (Domínguez *et al.*, 2011).

Las especies mencionadas de mangle están sujetas a impactos constantes, de origen antropogénico y natural. En el primer caso, por las actividades productivas como la explotación forestal intensiva, la modificación hidrológica en la región, la sustitución de áreas de manglar por infraestructura para acuicultura, turística, desarrollo urbano, vías de comunicación y actividad petrolera. Entre los impactos por fenómenos naturales están los huracanes, inundaciones, incendios, sequías y movimientos tectónicos (Moreno *et al.*, 2002), y plagas (Sol *et al.*, 2012). Cada uno de estos impactos varía en el grado de su afectación dependiendo del fenómeno de que se trate.

Ante tal escenario los ecosistemas de manglar sufren una serie de cambios cuya magnitud dependen de su resiliencia. En situaciones severas de degradación del ecosistema es necesario realizar actividades de reforestación para la recuperación de áreas que fueron totalmente afectadas o perturbadas. Es el caso específico en el Ejido Las Coloradas, Cárdenas Tabasco, donde debido a la defoliación por la oruga *Anacamptodes* sp. Se tuvo una pérdida considerable de cobertura vegetal (Sol *et al.*, 2012). Por tal razón, se estableció un programa para reforestar el área dañada de mangle negro.

La actividad de reforestación permite al ecosistema recuperarse más rápidamente por alguna perturbación. Por ello, es importante evaluar la práctica de reforestación para entender el comportamiento de la recuperación del sitio restaurado. Por tanto, se realizó la presente investigación con la finalidad obtener información sobre la sobrevivencia, patrones de mortalidad y crecimiento de las plantas de mangle negro en su medio natural como parte de la estrategia de generar información del ecosistema manglar (SEMARNAT, 2012).

Este documento consta de nueve apartados, la parte introductoria, la revisión de literatura que describe la distribución mundial y nacional del ecosistema manglar así como la importancia ecológica, económica y social. También se describe las cuatro especies presentes en México y los problemas que ocasionan su deterioro. Además se describe los factores edafoclimáticos relacionados al ecosistema y las estrategias de manejo como la restauración y reforestación. Los objetivos e hipótesis, los materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones y la literatura citada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Distribución mundial y nacional de manglar

Los manglares se distribuyen en las costas, tropical y subtropical de todo el mundo. La superficie que ocupan actualmente es de aproximadamente 152,361 km², en costas de África, Australia, Asia y América (Cuadro 1). Son unos de los ecosistemas más productivos y biológicamente diversos de la Tierra, sin embargo, también de los más amenazados (Spalding *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Zonas de manglares en el mundo (Spalding *et al.*, 2010)

| Región | Área (km ²) | Porcentaje |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|
| Este de Asia | 215 | 0.1 |
| Medio Oriente | 624 | 0.4 |
| Océano Pacífico | 5717 | 3.8 |
| Este de África | 7917 | 5.2 |
| Australia | 10171 | 6.7 |
| Sur de Asia | 10344 | 6.8 |
| África Occidental y Central | 20040 | 13.2 |
| Norte y Centroamérica | 22402 | 14.7 |
| América del Sur | 23882 | 15.7 |
| Sureste de Asia | 51049 | 33.5 |
| Total | 152361 | 100.0 |

En México la superficie ocupada por el manglar en los años 2006 y 2007 fue aproximadamente de 770,057 ha (CONABIO, 2009) y, para el año 2010 Rodríguez *et al.* (2013) reportan una superficie de 582,415 ha (Cuadro 2) y en el estado de Tabasco una superficie de 41,498.5 ha (Domínguez *et al.*, 2011). Es decir, corresponde al 7.1 % del total nacional, que lo ubica en el 4to., lugar a nivel nacional por la superficie ocupada con manglares.

Cuadro 2. Distribución y superficie de manglar en México en el año 2010 (Rodríguez *et al.*, 2013)

| Estado | Superficie ha | Porcentaje |
|---------------|--------------------------|-------------------|
| Jalisco | 2201 | 0.38 |
| Colima | 3237 | 0.56 |
| Michoacán | 1419 | 0.24 |
| Guerrero | 8123 | 1.39 |
| Oaxaca | 18608 | 3.19 |
| Chiapas | 46276 | 7.95 |
| Tamaulipas | 3095 | 0.53 |
| Veracruz | 37841 | 6.50 |
| Tabasco | 44590 | 7.66 |
| Campeche | 197620 | 33.93 |
| Yucatán | 91356 | 15.69 |
| Quintana | 128049 | 21.99 |
| Roo | | |
| Total | 582415 | 100.0 |

2.2. Características y clasificación del ecosistema de manglar

El ecosistema manglar está compuesto por una vegetación muy marcada en la zona de transición entre los ecosistemas marinos y terrestres con especies predominantes según su ubicación geográfica. Los manglares de México representan el 5% del total mundial en superficie y colocan al país en el cuarto lugar de los 125 países y territorios que poseen este tipo de ecosistema, tan solo por debajo de Indonesia (31,894 km²), Brasil (13,000 km²) y Australia (9,910 km²), no obstante, Indonesia y Australia reportan 45 y 40 especies respectivamente. Mientras que en Brasil existen solamente ocho especies (Spalding *et al.*, 2010) y en México seis (López y Ezcurra, 2002). De las seis especies de manglares registradas en México, cuatro son las más comunes, siendo: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Ga-erth.), mangle prieto (*Avicennia germinans*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.). Sin embargo, en las costas del estado de Chiapas se reporta la presencia de otras dos especies (*Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii*) (López y Ezcurra 2002; Nettel *et al.*, 2008). Estas dos especies se encuentran en la NOM-ECOL-059/2001 (SEMARNAT, 2002), bajo la categoría de protección especial, mientras que las otras cuatro especies de mangle están bajo la categoría de amenazadas NOM-059-

SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), lo cual indica que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo debido a la sobreexplotación más allá de su capacidad recuperación.

Las cuatro especies que predominan en el ecosistema manglar poseen características particulares, en aspecto físico y biológico. Además, la dominancia de una especie en una área, corresponde al tipo de hidrología y el grado de salinidad al que está asociado, junto con las pequeñas escalas de pendientes presentes en el ecosistema (Rodríguez *et al.*, 2013). Con base en lo anterior a continuación se describen las cuatro especies más comunes presentes en las costas de México.

Nombre común: mangle rojo

Nombre científico: *Rhizophora mangle* L.) (1753).

Familia: Rhizophoraceae

Es un árbol perennifolio, halófito, de 1.5 a 15 m de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 50 cm. Las hojas opuestas, simples, pecioladas, elípticas a oblongas, aglomeradas en las puntas de las ramas, de 8 a 13 cm de largo por 4 a 5.5 cm de ancho, coriáceas, lisas, gruesas; verde oscuras en el haz y amarillentas con puntos negros en el envés, sus inflorescencias son simples, con 2 ó 3 flores, pedúnculos de 3 a 5 cm, flores actinomorfas; corola de 1.8 cm de diámetro; cáliz de 1.54 cm de diámetro; sépalos 4, persistentes, amarillos, coriáceos, gruesos, de 4.1 mm de ancho; pétalos 4 no persistentes, blancos o amarillentos en la base y moreno rojizos arriba, de 2.6 mm de ancho. Los frutos son de color pardo, coriácea, dura, piriforme, farinosa, de 2 a 3 cm de largo por 1.5 cm de ancho en la base, cáliz persistente. Se desarrolla una semilla, rara vez dos, por fruto. La semilla germina en el interior del fruto (viviparidad), madura en dos o tres meses. El fruto germina aún cuando todavía está prendido al árbol, esto toma un tiempo de seis meses aproximadamente para su desarrollo. Los propágulos son de color verde a pardo en la parte inferior y presentan numerosas lenticelas. Miden de 22 a 40 cm de largo por 1 a 2 cm de diámetro. Su dispersión está en función de la marea, ya que tienen la habilidad para flotar, mientras que algunos de estos propágulos al caer de forma vertical quedan clavados en el suelo fangoso. *R. mangle* es una especie arbórea, posee ramas apoyadas en numerosas raíces zancudas, simples o dicotómicamente ramificadas, con numerosas lenticelas, la corteza es lisa con una coloración grisácea, rojiza a pardo rojiza, se desarrolla en las zonas inundables de estuarios y lagunas y tolera amplios rangos de

salinidad (Agráz *et al.*, 2006). Cuando el nivel de inundación es permanente, la sobrevivencia de la regeneración natural de las plantas está asegurada (Reyes y Tovilla, 2002).

Nombre común: mangle negro

Nombre científico: *Avicennia germinans* (L.) L.

Familia: Verbenaceae

La especie *A. germinans* es un árbol perennifolio de hasta 30 m de alto y 60 cm de diámetro, fuste recto, cilíndrico y neumatóforos alrededor; corteza gris negruzca, áspera, que se agrieta en placas rectangulares. Hojas simples, opuestas, de borde entero y lámina de 8-12 cm de largo, con la punta aguda. El haz es verde oscuro y el envés grisáceo. Las inflorescencias son panículas terminales o axilares, y contienen flores blancas con el centro amarillento. Los frutos son cápsulas de 2-3 cm de largo, que se abren en dos valvas y contienen una única semilla, de 14-20 mm de largo (Pennington y Sarukhán, 2005). Sus hojas están cubiertas por cristales de sal en época de seca, característica particular de este especie e intolerante a la sombra. La especie puede crecer en los suelos cuya salinidad varía entre 0 y 100 partes por mil (Jiménez y Lugo, s.f.)

Los neumatóforos están cubiertas por gran número de lenticelas por donde entra el oxígeno a los espacios intercelulares en el interior de las raíces, cuando queda expuesta al aire en épocas de inundación (Marie, 2002; Andreu *et al.*, 2010). La altura vertical de los neumatóforos depende de las condiciones ambientales. En suelos bien ventilados presentan mayor cantidad, así mismo, donde el nivel del agua sube mucho los neumatóforos son más largos (Ong y Gong, 2013).

Nombre común: mangle blanco

Nombre científico: *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaerth.

Familia: Combretaceae

El mangle blanco árbol generalmente pequeño de hasta 20 m de alto por 60 cm de diámetro. Su tronco es recto con ramas ascendentes, copa redondeada y densa. Su corteza externa es gris oscura a rojiza y se parte en pequeñas placas. La corteza interna es de color rosa a rojo oscuro, cambia a pardo rojizo y exuda un líquido rojizo. La parte interna del tronco (albura) es de color pardo amarillento o crema rojiza (CONABIO-CONANP. 2009).

Sus hojas son opuestas, elípticas y redondeadas tanto en la base como en el ápice, llegan a medir desde 4 a 10 cm de largo por 2 a 4 cm de ancho; la parte superior de la hoja (haz) es

verde oscuro brillante y la parte inferior (envés) es verde amarillento. La base de las hojas (pecíolo) mide de 4 a 15 mm y posee un par de glándulas cerca de la base de la lámina. La hoja tiene numerosas glándulas hundidas en el envés de la lámina que pueden verse fácilmente a contra luz. Sus flores crecen en grupos en la punta de ramillas en las axilas de las hojas o al final de las ramas jóvenes. Sus frutos sedosos y carnosos, tienen forma de botella aplanada, miden entre 1 a 2.5 cm de largo y tienen varios surcos longitudinales. Los frutos se hunden después de flotar por aproximadamente cuatro semanas y el crecimiento comienza cuando la plántula se encuentra sumergida; el establecimiento ocurre en áreas acuáticas poco profundas. El mangle blanco crece en una variedad de condiciones en altitudes de 0 a 15 metros sobre el nivel del mar. Produce flores y frutos durante todo el año, con incrementos notables en la época lluviosa. La producción de flores y semillas puede ocurrir desde los dos años de edad.

Nombre común: mangle botoncillo

Nombre científico: *Conocarpus erectus* L.

Familia: Combretaceae

Árbol de hasta 13 metros de altura, de tronco derecho y muy ramificado de color amarillento y de follaje denso; corteza oscura fisurada; las hojas alternas, lanceoladas o elípticas de 3-8 cm de largo por 1.5-3 cm de ancho, coriáceas y levemente carnudas, puntiagudo en ambos extremos, de color verde amarillo en ambas superficies; las flores se dan en los extremos de ramas y en axilas de la hoja y son de color verde-amarillento de pequeñas cabezas, cerca de 5 mm de diámetro en tallos delgados; los frutos son múltiples y redondeados de 10-12 cm de diámetro. Florece durante todo el año. Especie que se encuentra en sabanas, en petenes y en manglares mezclados con otras especies de mangle. Su madera se usa para construcciones rústicas y la flor es melífera. Se encuentra en estado amenazada, dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Esta especie presenta dominancia a los 350 metros de distancia desde laguna, además con una microtopografía de elevación de 85 cm del nivel de agua del canal a los primeros 10 m (Basáñez *et al.*, 2008).

2.3.Importancia del ecosistema de manglar

2.3.1 Beneficios ecológicos

Los beneficios del ecosistema manglar son muchas debido a la interacción de sus elementos. Uno ellos es ecológico, ya que sirve de hábitat de manera permanente o temporal para muchos

organismos, entre las cuales destacan las comunidades de crustáceos, moluscos, anélidos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, presentes o característicos de este ecosistema (Tovilla, 1998).

Estudio de Vega y Villarreal (2003), reportan 166 especies de peces asociados a manglares y arrecifes, en el Parque Nacional Coiba al suroeste de la República de Panamá, contrastando por la pequeña extensión y la gran diversidad de especies. También es hábitat de muchas especies de aves permanentes y migratorias. Por ejemplo, el águila negra (*Buteogallus anthracinus*) es una especie que requiere arboles maduros de mangle para establecer sus nidos (Barradas *et al.*, 2004). En general el número de especies de avifauna de estos bosques varían según su ubicación geográfica. Los Manglares del Pacífico de Centro América incluyen alrededor de 160 especies de las cuales más del 25% de ellas son migratorias lo cual se alimentan de los peces, pequeños invertebrados entre otros (Jiménez, 1999). En la región Sur del Golfo de Morrosquillo, se reporta en la Ciénaga la Caimanera, un total de 30 especies, pertenecientes a 17 familias (Urueta *et al.*, 2010). La abundancia de individuos en metros cuadrados es sorprendente en este ecosistema. En Puerto Morelos, Municipio Benito Juárez, Quintana Roo, Elizondo *et al.* (2011) reportan un total de 2,747 organismos pertenecientes a los grupos faunísticos Anélidos, moluscos, crustáceos e insectos de la Infauna. La abundancia relativa de organismos fue: Moluscos Gasterópodos 98%, Moluscos Bivalvos 2% y con menor del 1% Insectos. Respecto a la abundancia de los organismos de la Epifauna estos están representados por los Moluscos Gasterópodos 92%, Insectos con un 4%, Moluscos Bivalvos 3% y con menos de 1% Anélidos y Crustáceos. La composición y abundancia de crustáceos, varían dependiendo el lugar y el método utilizado para su captura. Para una zona de la costa de Tabasco se registraron 2,370 organismos correspondientes a 4 órdenes, 15 familias, 17 géneros y 17 especies; con 13 especie de epifauna, 4 especies de infauna y las especies con mayor representadas en términos de abundancia fue: *Discapseudes* (Barba *et al.*, 2010).

Otro aspecto de gran importancia de los manglares es el valor ambiental, por eso se sigue su reforestación y restauración en áreas degradadas. En general el ecosistema manglar forma parte de los humedales que presentan atributos, productos y funciones de cuya existencia se beneficia la sociedad. Dichas funciones son Físicas: regulación del ciclo hídrico superficial y de acuíferos, retención de sedimentos, control de erosión y estabilización microclimática; Químicas: regulación de ciclos de nutrientes (retención, filtración y

liberación) y descomposición de biomasa terrestre como base de la productividad de los sistemas acuáticos; Bio-Ecológicas: productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de dióxido de carbono; y Sociales: sistemas productivos y socioculturales (economías extractivas, pesca artesanal, caza, recolección, pastoreo y agricultura en épocas de estiaje), recursos hidrobiológicos y soporte de acuicultura. También proveen servicios de recreación, investigación científica y educación (Boletín Informativo No. 9 * Instituto Humboldt, 1998; Sanjurjo y Welsh, 2005; Calderón *et al.*, 2009). Así mismo, los manglares como cualquier otro bosque, capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos de fotosíntesis, respiración y degradación de materia seca; solo que los manglares liberan menos carbono que otros ecosistemas forestales (Sanjurjo y Welsh, 2005). El almacenaje de carbono en los bosques de manglar fluctúa entre 12.8 y 39.9 Kg C m⁻², durante las estaciones de Secas y Nortes y, la edad del rodal es un factor determinante que influye sobre la cantidad de carbono orgánico en el suelo, considerado como la vegetación con potencial de secuestro de carbono (Moreno *et al.*, 2010). Además es protección para las zonas costeras ante fenómenos naturales (huracán, tormentas, inundaciones), así mismo, para la conservación de vida animal y vegetal y la producción de agua, alimento, medicina, recursos genéticos, como las actividades productivas (Schuyt y Brander, 2004; Wood *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013). En especial la epidermis las hojas de los manglares funciona como alimento para los camarones en el proceso del desarrollo y también se transforma en nutrientes que promueven el crecimiento de fitoplancton, que son exportados por las mareas a las aguas marinas, donde son aprovechados por pastos marinos, arrecifes de coral y una gran variedad de peces (Sanjurjo y Welsh, 2005).

2.3.2 Beneficios económicos

Las comunidades aledañas de las lagunas rodeadas por los manglares su actividad principal es la pesca y el aprovechamiento de las especies de mangle la cual les generan ingresos económicos y les proveen alimentación para el sustento familiar (Basáñez *et al.*, 2006; Galmiche y Solana, 2011). Por ejemplo, en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, el aprovechamiento mensual de los troncos (madera) del manglar, es aproximadamente de 200 a 300 piezas por persona con un valor de \$ 10.00 por pieza, obteniendo en promedio una ganancia de \$ 2,500.00 al mes (Basáñez *et al.*, 2006). En México, en la zona de Marismas

Nacionales y puertos cercanos, la producción de camarón asciende a cerca de 43 millones de pesos al año, siendo una de las más importantes del país (Sanjurjo, 2001). Otro ejemplo, los pescadores de la *Isla de Mexcaltitán* indican que los ingresos brutos por concepto de camarón son de alrededor de cuatro mil pesos mensuales por cada uno de los trescientos sesenta y seis pescadores (Guevara *et al.*, 2005). Aunque a nivel nacional se reporta que el ecosistema manglar genera aproximadamente US \$ 1,500 por hectárea año⁻¹ (Calderón *et al.*, 2009).

Los datos mencionados pueden variar por su ubicación geográfica. Por ejemplo, la actividad pesquera y de cultivo son mucho más productivas en la costa del Pacífico (70%) que en la del Atlántico (30%), pero en ambos casos han tenido un crecimiento franco a lo largo de las últimas dos décadas (Calderón *et al.*, 2009). Esto indica que las comunidades aledañas a este ecosistema, presenta un valor económico muy importante, por lo tanto, su conservación y restauración es responsabilidad de todos porque gracias a este ecosistema la actividad pesquera del camarón, es una de las más importantes de México. En general las bondades mencionadas de los manglares se estima con un valor mundial de US \$ 120 por hectárea por año (Schuyt y Brander, 2004).

2.3.3 Beneficios sociales

En general los beneficios que aporta la vegetación manglar a las comunidades aledañas son varios. Baba *et al.* (2013) y la Chan *et al.*, (2012), reportan los siguientes: Madera aserrada, postes, leña, carbón, los taninos de la corteza, materiales de techo de palma, la miel, el uso ocasional de otras frutas, uso medicinal de sociedades tradicionales. El uso de estos recursos maderables y no maderables depende de la cultura de las comunidades. Para el caso de la zona costera tabasqueña los benéficos directos del manglar son la leña, ya que el 91% de los hogares de la zona usa leña y el 43.3% es de origen de mangle, así mismo, la madera es también uno de los principales recursos que obtienen del manglar, no sólo para la construcción de viviendas sino también para la elaboración de herramientas, cercas, para hacer pintura, así como herramientas y utensilios diversos sin que las familias tengan que invertir dinero (Galmiche y Solana, 2011). En cuanto al destino que se le brinda, el 24% se destina a leña, 23% a el cercado, 23% a la pesca, el 12% a la venta, 9% a la construcción de casas, 5% corresponde a medicina y 4% a la fabricación de muebles (Basáñez *et al.*, 2006). También son zona de desarrollo de la creciente industria asociada al ecoturismo (Rodríguez *et al.*, 2013), así

mismo, se considera que desempeñan un importante papel en la reducción de la pobreza y el apoyo a los dos medios de subsistencia y la biodiversidad (IWMI, 2014).

Este ecosistema es de suma importancia y por tanto su cuidado y restauración es de interés para preservar los recursos disponibles y beneficiarse de los servicios que provee de manera sustentable. Por ejemplo, en el aspecto alimentaria se encuentran diversas especies de peces como son: bagre (*Arius melanopus*), lisa (*Mugil lisa*), mojarra (*Eucinostomus* y *Diapterus rhombeus*), pargos (*Lutjanus spp.*), robalo (*Centropomus undecimalis*) y sábalo (*Megalops atlanticus*). Especies de caracoles, ostras (*Crassostrea rhizophorae*), percebes, erizos y esponjas y a sus estadíos juveniles. Una gran diversidad de especies comerciales como cangrejos y jaibas (*Callinectes sp.*), camarones y langostinos (*Macrobrachium sp.*), incluyendo algunas especies de aves como la chocolatera (*Ajaia ajaja*) (Chávez *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013).

2.4 Problemas ambientales y su impacto en el ecosistema manglar

Los problemas ambientales en los últimos años han aumentado hacia los ecosistemas naturales, uno de ellos es la deforestación producto de las necesidades y demandas de la sociedad. Este ha sido un problema permanente difícil de revertir, porque cada año se talan 130 Km² de selva tropical para producir miles de productos de consumo mundial como el papel. La deforestación avanza a un ritmo de 17 millones de ha año⁻¹, lo que equivale a la superficie que ocupan los países de Inglaterra, Gales e Irlanda del norte juntos, como resultado la pérdida de biodiversidad de flora y fauna en todos los ecosistemas (Gore, 2006).

En especial los manglares, han sufrido impactos negativos de tipo antrópico y de origen natural. Para el primer caso se reporta que la actividad petrolera es una de las que causan mayores daños en el ecosistema manglar (Olguín *et al.*, 2007). En los estados como Veracruz, Tabasco y Campeche se reportan daños por derrames de petróleo (García-López *et al.* 2006; Hernández-Melchor, 2013) al igual que en diversos países del mundo como China (Hong Kong), Australia (Queensland), Brasil (Paraná) (Burnas *et al.* 1994; Ke *et al.* 2005). El efecto de los derrames de petróleo sobre plántulas y árboles de mangle están relacionados a la asfixia y muerte cuando el petróleo pesado o viscoso cubre los neumatóforos, también bloquea el sistema de raíces aéreas mediante las cuales se realiza el intercambio de gases con la atmósfera circundante al sustrato del manglar. Asimismo, la vegetación de manglar puede morir por intoxicación directa con los compuestos aromáticos de bajo peso molecular cuando

estos dañan las membranas celulares de las raíces y se impide el proceso normal de exclusión de la sal (IPIECA, 1993). Los hidrocarburos del petróleo es tóxico para todo los organismos vivos. Por ejemplo, en los peces se adhieren a las branquias, afectando su respiración. También se adhieren y destruyen las algas y el fitoplancton y afectan la alimentación y reproducción de la vida acuática en general de plantas, insectos y peces (Reeves, 2005).

Otro impacto negativo para el ecosistema de manglar es la extracción masiva de los arboles con diámetros > 5 cm en aproximaciones de 180 individuos por hectárea (Rodríguez *et al.*, 2011), así como el uso diario del tronco y ramas es un factor de deterioro en el manglar (Basáñez *et al.*, 2006) y como resultado la baja densidad de número de individuos en un bosque natural. También el ecoturismo en las zonas costeras e incluyendo los manglares de México, aunque es considerado como una de las alternativas de conservación, también generan impactos ambientales como son: la presión por recursos naturales (sobreexplotación de las especies comerciales y deportivas), contaminación del agua (emisión de aguas residuales sin tratamiento) e impactos físicos directos como es la construcción y mantenimiento de infraestructura (Flores *et al.*, 2010).

Las actividades agrícolas, pecuarias y acuícola han ganado terreno, por tanto, la presión que ejercen estas actividades ha provocado la pérdida de superficies importantes del ecosistema manglar (De la Cruz-Francisco, 2012; Rodríguez *et al.*, 2013).

Para el segundo caso, están presentes las afectaciones de origen natural son pocos extendidas y puntuales, y en general el ecosistema de manglar puede recuperarse (Rodríguez *et al.*, 2013).

Entre estas tenemos:

- Deterioro del manglar por la acción abrasiva del mar sobre las costas y aumento de su nivel medio.
- Deterioro de lagunas costeras por colmatación o cierre natural de canales.
- Acumulación de arenas debido a cambios en la dinámica costera y migración de los sedimentos, lo que provoca el recubrimiento de las raíces de los mangles causando su muerte.
- Efecto destructivo de eventos meteorológicos extremos (ciclones y huracanes).
- Variaciones del régimen hídrico (disminución de las precipitaciones).

Aunado con lo anterior existen herbívoros que causan impactos negativos hacia las especies de mangle por el consumo de las hojas. Por ejemplo, los organismos lepidópteros son

más frecuentes y abundantes en su fase de oruga, principalmente en *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* presentado mayor consumo de hojas durante la época de secas con una elevada salinidad intersticial (Orihuela *et al.*, 2004). Tal es el caso del estado de Tabasco, en el año 2010 se tuvo la presencia de la plaga de *Anacamptodes sp* que causo la muerte de 3 841.13 ha de mangle negro (*A. germinans*) (Hernández-Melchor, 2011).

Otro impacto común en los manglares de Tabasco, es la entrada del agua del mar en zonas de crecimiento del mangle blanco (*L. racemosa*) generando una sustitución por mangle negro (*A. germinans*) debido a las salinidades altas de las aguas. Esto implica cambios en la estructura florística y fauna en los sitios y los medios de vida de las comunidades aledañas que se benefician de este recurso (Galmiche y Solana, 2011).

Los dos aspectos mencionados sus efectos son evidentes. En específico el ecosistema manglar en el año 1980 México contaba con 1.12 millones de hectáreas, y para el 2005, tal superficie había descendido a 820,000 hectáreas, lo cual indica una pérdida anual de 12,000 hectáreas que corresponde al 4 %, durante un periodo de 25 años (FAO, 2007). En el año 2010 se reporta con una superficie de 582,415 hectáreas (Rodríguez *et al.*, 2013). Esta progresiva pérdida de superficie se le atribuye a los impactos mencionados de origen antrópico y natural.

2.5 Estrategias para la restauración del ecosistema de manglar

2.5.1 Reforestación y restauración

Ante los problemas antes mencionados, muchas instituciones se han dado la tarea de generar información a través de la investigación científica proporcionando elementos para disminuir los efectos e impactos negativos hacia los ecosistemas naturales. Entre las estrategias de conservación están el establecimiento de Área Natural Protegida (ANP), parques y museos entre otros, con la finalidad de conservar, cuidar, mantener y estudiar a las comunidades vegetales y animales a través de un plan de manejo que favorece a la conservación (Carmona *et al.*, 2004). Actualmente existen programas: como la investigación, educación ambiental y conservación para el fortalecimiento y manejo sustentable de los manglares (Carmona *et al.*, 2004; Linares *et al.*, 2004).

Asimismo, se realizan actividades de reforestación y restauración de los ecosistemas en especial el manglar. Aunque no es nada fácil restaurar el ecosistema manglar porque cada especie requiere condiciones físicos-químicas particulares que se encuentran interconectadas

con la presencia de otras especies de plantas en las zonas de inundación (Rodríguez *et al.*, 2013). Institución como la CONAFOR cuyo objetivo es desarrollar e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal. A través de la actividad de reforestación que ejerce la institución mencionada permitirá que los ecosistemas naturales puedan recuperar su equilibrio para mantener las funciones del ecosistema. Dicha actividad se realiza con el objetivo de recuperar áreas que fueron perturbadas totalmente, donde la regeneración natural prácticamente es nula que llevaría años para retornar en su estado original.

Caso específico en agosto de 2011 se aprueba el proyecto Restauración Ecológica de mangle negro (*A. germinans*) afectados por orugas de *Anacamptodes* sp., en el Ejido Las Coloradas, Cárdenas, Tabasco, México. En dicho proyecto se realizaron actividades de restauración y reforestación del sitio (Sol *et al.*, 2012). En específico la actividad de reforestación es necesaria la evaluación sobre el proceso de restauración del sitio, para lo cual Field (1996) sugiere una serie de parámetros como:

Monitorear el crecimiento en función del tiempo. Los parámetros comunes son: densidad de los árboles jóvenes, diámetro del tallo altura del árbol y el volumen.

Monitorear características del crecimiento: determinar la estructura del tallos, producción de nódulos, fenología, fruto y resistentes a las plagas.

Mantener información de los árboles fallidos: se debe mantener un registro con fines de investigación de las causas del fracaso.

Se debe monitorear los parámetros físicos como temperatura, salinidad y una variedad de parámetros de calidad de agua, así como la Clorofila A y el oxígeno disuelto. También se debe reportar la ausencia o presencia de macro vegetación.

Lo anterior es de importancia porque la información que se genere se utiliza como las bases para las actividades futuras de restauración y reforestación.

2.6 Efecto de los factores edafoclimáticos relacionados con la vegetación de manglar

2.6.1 Salinidad

La salinidad en los sedimentos (salinidad intersticial) de los bosques de manglar depende del tipo de hidrología que prevalezca en ellos. Por ejemplo, los manglares en las orillas costeras, reciben constantemente agua de mar por lo tanto presentan alto contenido de salinidad. Los

manglares ribereños son influenciados por agua salobre ya que reciben agua de los ríos y canales, al igual que agua de mar y presenta bajo contenido de salinidad. Además la salinidad varía estacionalmente y depende de la altura y amplitud de la marea, de la precipitación pluvial y de las variaciones estacionales en el volumen de agua que les aportan los ríos, canales y escurrimientos de tierras arriba. La salinidad en los suelos de manglar que se encuentran adyacentes a ríos es menor que la de los suelos de manglares localizados en las orillas de la costa. Asimismo, las estaciones más lluviosas estabilizan, los niveles de salinidad a rangos entre los 49 -55 % (Rodríguez *et al.*, 2013). Aunado con lo anterior el pH del agua en el ecosistema manglar es variable debido al periodo de inundación. Por ejemplo, el pH del agua intersticial mayor será en periodos largos de inundación (Yáñez *et al.*, 2001) y las profundidades del agua producto de las pequeñas escalas de pendientes del terreno manglar la cual ejerce una presión física que actúa como restrictivo para la expansión del manglar (Ortiz y Méndez, 2000).

En particular la especie *A. germinans* es la que tiene mayor tolerancia a condiciones de alta salinidad se encuentra a mayores de 40 por mil, hasta 100 por mil, gracias a las glándulas secretoras de sal en sus hojas. Crece en el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente. En estos lugares el suelo está cubierto de agua continuamente, pero tan solo por unos pocos centímetros, o son inundados por mareas pocas veces al año (Cordero y Boshier, 2003).

2.6.2 Tipos de suelos

Los grupos de suelos como Histosoles Solonchaks, Gleysoles y Tecnoles son suelos los que se pueden encontrar en los manglares, predominando con mayores superficies los primeros dos mencionados (Moreno *et al.*, 2002; Palma *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2011). Estos suelos de manglar se caracterizan por tener un alto contenido de agua, de sal y sulfuro de hidrógeno, un bajo contenido de oxígeno y una elevada proporción de materia orgánica (Lewis 2005). El pH de los grupos de suelos mencionado se puede encontrar de fuertemente a moderadamente ácido (García, 2005; Palma *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2011).

2.6.3 Temperatura (agua y ambiente)

Todas las especies vegetales se desarrollan en donde las condiciones del sitio les proporcionan los requerimientos necesarios para su desarrollo. Una de ellas es la luz que influye en numerosos procesos fisiológicos, morfogenéticos y reproductivos de plantas y afecta de forma muy significativa al funcionamiento general del ecosistema (Kohen *et al.*, 1995). También la cantidad de radiación desencadena diversos procesos evolutivos en los que entran en juego desde la adaptación a la radiación media disponible, hasta la coevolución entre animales y plantas o parásitos y huéspedes, pasando por la flexibilidad o plasticidad para acomodarse a los cambios espaciales y temporales de la radiación (Valladares *et al.*, 2004). La luz es un componente importante para la regeneración de las plantas (Alcaraz, 2012). En específico el mangle negro se considera como intolerante a la sombra y es incapaz de regenerarse incluso bajo una sombra moderada (Jiménez y Lugo, s.f.).

III. OBJETIVOS

3.1 General

Cuantificar la sobrevivencia y crecimiento del mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en áreas reforestadas y de regeneración natural en el Ejido las Coloradas, Cárdenas, Tabasco.

3.2 Específicos

- Estimar la sobrevivencia de plantas de mangle negro (*A. germinans*) plantadas en diferentes ambientes de inundación.
- Cuantificar el crecimiento dasométrico de mangle negro (*A. germinans*) bajo condiciones de regeneración natural y en las plantas reforestadas en diferentes ambientes de inundación.
- Contrastar el crecimiento de mangle negro (*A. germinans*) en los ambientes establecidos con relación a la cantidad de la radiación solar.

IV. HIPÓTESIS

4.1 General

Existen diferencias estadísticas en los valores de sobrevivencia y crecimiento del mangle negro (*A. germinans*) reforestado y por regeneración natural.

4.2 Particulares

- La tasa de sobrevivencia del mangle negro mediante reforestación es superior al 85 %.
- Existen diferencias en el crecimiento dasométrico de mangle negro bajo condiciones de regeneración natural y reforestación.
- Plantas de mangle negro expuestas a una mayor radiación solar presentan mayor tasa de crecimiento que las expuestas a una menor radiación solar.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El estado de Tabasco se localiza en la Región Sureste de la República Mexicana, situado entre las coordenadas 17° 19' 00" y los 18° 39' 00" de LN y los 90° 57' 00" y 94° 08' 00" de LO. Sus límites son al norte con el Golfo de México, hacia el sur con el estado de Chiapas, al oeste con el estado de Veracruz, al noreste con el estado de Campeche y al sureste con la República de Guatemala (INEGI, 2005).

En las zonas costas del estado forman parte los bosques de manglar Zavala *et al.* (2012) que pertenece al relieve planicie baja de inundación lagunar Ortiz *et al.* (2005) y los grupos de suelos son: Solonchaks, Gleysoles, Histosoles, Tecnosoles Palma *et al.* (2006) y Domínguez *et al.* (2011), con una vegetación hidrófita flotante y pastizales. Generalmente estos suelos se inundan buena parte del año con agua salina de lagunas que tienen conexión con aguas del mar. Por tanto, se reduce la permeabilidad interna con manto freático elevado su capacidad de uso pertenece a la clase (V/S3D3C1), y no se recomienda su uso agrícola (Palma *et al.*, 2006).

El clima Am (w) está distribuido en la gran planicie de la llanura del Golfo (SEDESPA, 2006), con precipitación que varía de 1,500 mm anuales en el extremo oeste hasta cerca de 2000 mm en la Boca del Tonalá (Palma *et al.*, 2006).

Dentro del sector primario la actividad preponderante es la pesca ribereña y en alta mar, además de la pesca, está el cultivo del ostión y camarón en las lagunas salobres. También la captura de cangrejo y jaiba en marismas y manglares. Actualmente la presencia de granjas camaronícolas en el límite con la llanura de inundación presenta un gran potencial (Palma *et al.*, 2006).

5.2 Selección de la unidad de muestreo

El área de estudio se ubicó en el ejido Las Coloradas, en Cárdenas, Tabasco. El manglar de las Coloradas fue afectado fuertemente por la plaga de *Anacamptodes sp.*, en el año 2010, con tal intensidad que hubo pérdida de los árboles de mangle negro en aproximadamente 400 hectáreas (CONAFOR, 2010). Debido a ésta fuerte afectación (Ver Anexo 1 y 2) se reforestaron con la misma especie, 50 hectáreas en el ejido mencionado (Sol *et al.*, 2012). La unidad experimental fueron las 50 hectáreas reforestada con la especie *A. germinans*. La

ubicación geográfica del predio en UTM: 441000 N y 22026900 O (Figura 1). El relieve es plano a ligeramente convexo con altura de <1 msnm (Zavala y García, 2012).

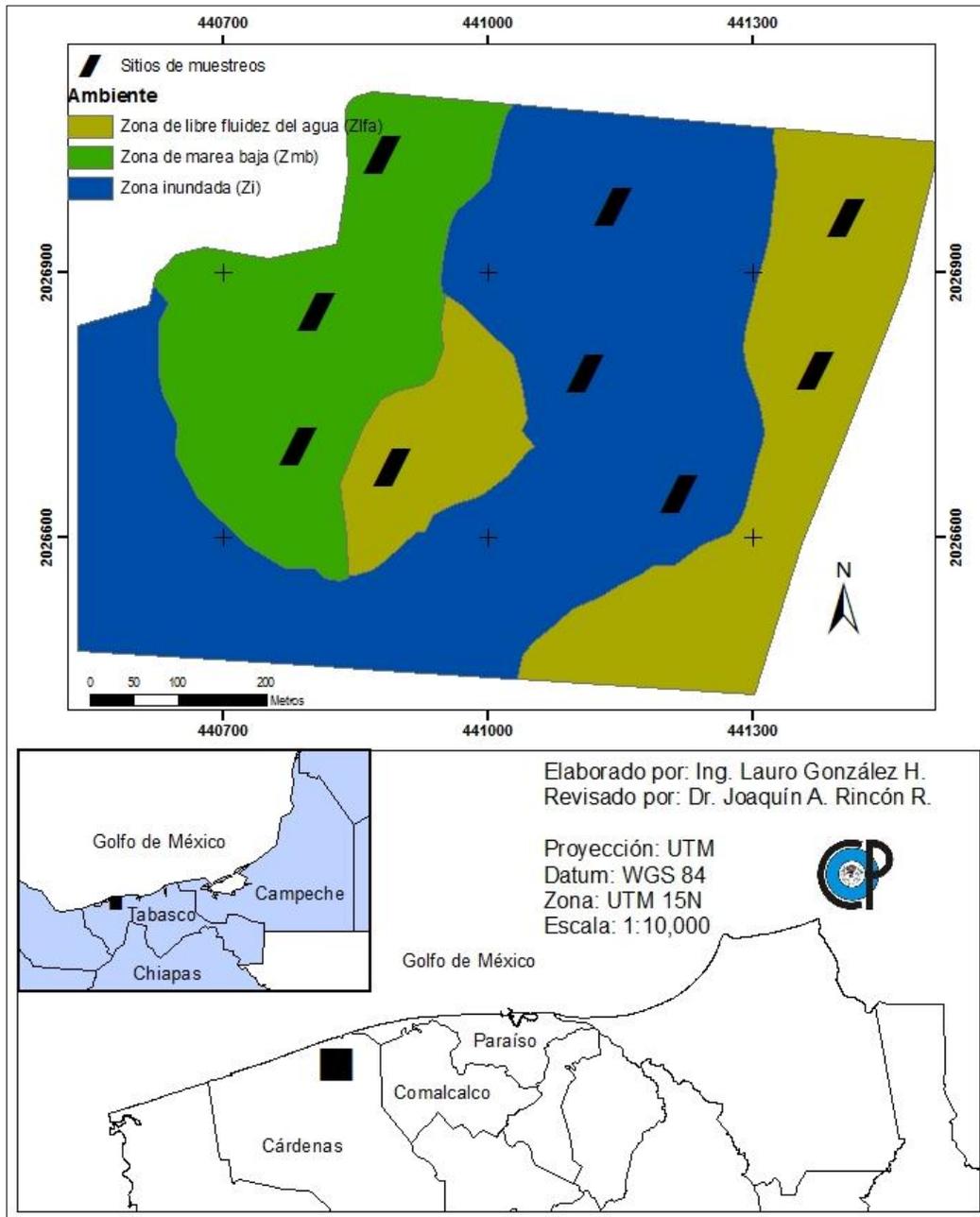


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

5.3 Diseño experimental

Se establecieron nueve sitios de muestreo permanente o unidades experimentales, georreferenciados a través del equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Marca Garmin (Ver Anexo 3). Estos sitios se establecieron a una distancia de 200 metros aproximadamente uno del otro, bajo un diseño completamente al azar (Herrera y García, 2010). En diciembre de 2013 se hizo un estudio de batimetría en los nueve sitios mencionados. Estos datos fueron procesados a través del Software ArcMap y basado por el método de interpolación batimétrico Spline (Álvarez *et al.*, 2011), se delimitaron los tres ambientes que fueron: Zona inundada (Zi), Zona de marea baja estacional (Zmb) y Zona de libre fluidez del agua (Zlfa).

A cada ambiente corresponde una característica particular por ejemplo, el ambiente (Zi), corresponde a un suelo fangoso e inundado todo el año. El ambiente (Zmb), se caracteriza porque en épocas de lluvias y nortes se inunda en un periodo de tiempo corto y son suelos firmes y el ambiente (Zlfa), son suelos firmes e inundados pero en menor tiempo comparado con el ambiente (Zi) (ver anexo 4, 5 y 6). En los tres ambientes se establecieron tres sitios de muestreo, los cuales fueron tomados como repeticiones. En estos sitios se tomaron datos de sobrevivencia y crecimiento de las plantaciones reforestadas (Prf) y poblaciones de regeneración natural (Prn).

5.4 Sitios de muestreo

La superficie de los sitios de muestreos de **plantaciones reforestadas** fue de 500 m² (50 m de largo x 10 m de ancho), superficie representativa en la caracterización forestal de acuerdo a Melo y Vargas (2003). Además, en cada sitio de muestreo se establecieron tres sitios para la toma de datos de población de regeneración natural (Prn) con una superficie de 4 m², (2 m de largo x 2 m de ancho), el cual fueron consideradas todas las especies dentro del cuadrante (Figura 2).

Las **plantaciones reforestadas** (Prf) de mangle negro (*A. germinans*), se les dio cuidado de vivero de noviembre 2011 a junio 2012, momento en que se sembraron las plantas con una altura promedio de 80 cm. Las plantas se trasplantaron a una distancia de 3.5 m x 3.5 m, dando un total de 40,800 plantas en una superficie de 50 hectáreas. La de siembra se realizó

en junio que es cuando caen las primeras lluvias copiosas que se tienen al final de la temporada de secas (Sol *et al.*, 2012).

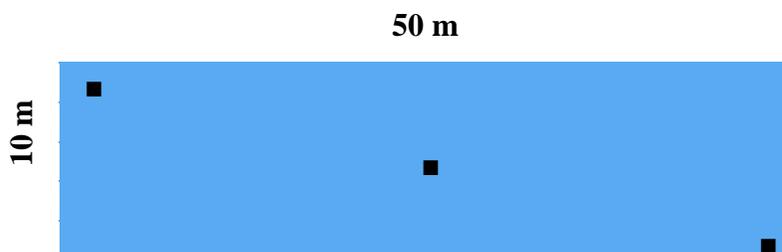


Figura 2. Diseño de los sitios de muestreo.

- Indica los puntos de muestreo de la regeneración natural con una dimensión 4 m²

5.5 Variables a registrar

Las variables de carácter cuantitativo que se hicieron a las plantas en estudio se presentan en el Cuadro 3. Se registraron los patrones de mortalidad con base a lo que sugiere Londoño y Álvarez (1997) y Londoño y Jiménez (1999) y las variables de crecimiento de acuerdo a Sosa y Rodríguez (2003) y Carrillo *et al.* (2008).

Cuadro 3. Variables registradas en la caracterización de plantas de reforestación y regeneración natural.

| Variable | Descripción | Unidad de medición |
|----------------------------|---|---------------------|
| Altura de la planta (Apl) | Se refiere a la altura de la planta desde el suelo hasta el ápice de la planta. Esta se midió utilizando un flexómetro. | Cm |
| Superficie de copa (SC) | Es la longitud de la rama más alejada en ambas partes de la planta. Esta se midió utilizando un flexómetro. | Cm |
| Diámetro de cuello (DC) | Es la medida del diámetro del cuello de la planta a una altura de 15 cm sobre el nivel del suelo. Esta se midió con un vernier. | Cm |
| Altura de neumatóforo (AN) | Es la longitud de las raíces que emergen del suelo alrededor de la planta. Esta se midió con un flexómetro | Cm |
| No de neumatóforos (NN) | Se refiere al número de raíces que emergen del suelo alrededor de la planta. Esta se contó en su totalidad por planta. | promedio por planta |
| Patrones de mortalidad | Se refiere a las principales causas de muerte en las plantaciones. | En porcentaje. |

5.6 Sobrevivencia y mortalidad

Para valorar el proceso de reforestación del mangle negro se consideró la sobrevivencia y sus patrones de mortalidad de acuerdo a las condiciones ambientales propicias del sitio. La sobrevivencia se cuantificó con base al total plantado de la superficie de cada sitio de muestreo. Asimismo, se clasificaron los patrones de mortalidad en porcentaje como establece (Londoño y Álvarez, 1997; Londoño y Jiménez, 1999): que son:

- Muerto en pie (**MP**): Cuando el individuo muerto se encuentra en pie, sin daños evidentes en su fuste o ramas.

- Tronco partido (**TP**): Cuando se encuentra al individuo con fragmentos del fuste en pie y otros en el suelo.

- Caído de raíz (**CR**): Cuando el individuo se encuentra completamente caído en el suelo con las raíces expuestas.

- Individuos desaparecidos (**DE**): Cuando en los procesos de monitoreo no se encuentra a un individuo que aparece en los registros anteriores y no hay evidencia de fragmentos en estado de descomposición.

- Cortado (**COR**): Cuando aparece como evidencia los tocones de los árboles aprovechados por las comunidades locales.

- Sin clasificación (**SCLA**): Este tipo de mortalidad cobija a los individuos que no pueden ser clasificados en las anteriores categorías.

La aproximación al conocimiento de la mortalidad arbórea, tiene que ver con el tipo de muerte y su frecuencia dentro de un ecosistema.

5.7 Crecimiento de las plantaciones y regeneración natural

Para el crecimiento de las plantaciones reforestadas (Prf) y población de regeneración natural (Prn) se consideraron los siguientes variables: altura (h), superficie de copa (sc1 y sc2), diámetro de cuello (dc) y altura de neumatóforos (an) con base en los criterios de Sosa y Rodríguez, 2003; Carrillo *et al.*, 2008 y Barrera *et al.*, (s.f). Los datos de las variables fueron tomadas en las tres épocas del año; norte (diciembre, 2013), seca (abril, 2014), y lluvia (septiembre, 2014) de acuerdo (Aceves *et al.*, 2008). Sobre esta actividad se enumeró cada planta reforestada y de regeneración natural, el sitio, la repetición a la que pertenece, en cada uno de los sitios de muestreo.

Con los datos de las variables mencionadas se cálculo la tasa relativa de crecimiento dasométrico de acuerdo a Sosa y Rodríguez (2003) y Carrillo *et al.* (2008)

Tasa relativa de crecimiento (TRC) en altura

$$\text{TRC} = (\text{altura 2} - \text{altura 1}) / 1 \text{ año}$$

$$\text{TRC} = \text{altura 2} - \text{altura 1}$$

Porcentaje de incremento (PI) en altura

$$\text{PI} = ((\text{altura 2} - \text{altura 1}) / \text{altura 1}) (100)$$

Tasa relativa de crecimiento (TRC) en diámetro

$$\text{TRC} = (\text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}) / 1 \text{ año}$$

$$\text{TRC} = \text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}$$

Porcentaje de incremento (PI) en diámetro

$$\text{PI} = ((\text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}) / \text{diámetro 1}) (100)$$

5.8 Presencia de neumatóforos

El mangle negro presenta raíces horizontales (raíces cables) de la que brotan raíces hacia la superficie del suelo llamado neumatóforos. Estos neumatóforos están cubiertos por lenticelas (orificios) cuya función es la absorción de oxígeno cuando la planta queda expuesta a inundación por efecto de la marea. Por tanto, para la sobrevivencia de las plantas en épocas de marea alta es importante la cantidad y altura de los neumatóforos (Vilmarie, 2008). Con base en lo anterior se registró la cantidad y altura de los neumatóforos en plantaciones reforestadas y de regeneración natural. Para ello, se estableció alrededor de la planta una circunferencia que integró en su totalidad los neumatóforos, tomando como referencia la superficie de copa más alejada de la planta. Para la medición de altura se escogieron tres neumatóforos y se midió la altura máxima, mediana y mínima con un flexómetro (Figura 3).



Figura 3. Diseño de toma de datos de los neumatóforos.

5.9 Porcentaje de luz en los sitios de muestreo

La radiación solar es indispensable para las plantas y en su ausencia se suspenden las funciones fotosintéticas. Así mismo, la falta de luz prolongada provoca en la planta un crecimiento ahilado, pérdida de color verde y, en general, pérdida de vigor (Aguilar, 2011). Basado en lo anterior, se tomaron lecturas de la radiación solar a través del equipo LI-COR Terrestrial Radiation con un sensor Quantum Q 40829. La toma de lecturas fue el día 14 de mayo del 2014, en las horas con mayor intensidad de la luz de 12:00 a 13:00. Se registraron 15 lecturas en diferentes puntos en cada sitio de muestreo en los tres ambientes (Zi, Zmb y Zlfa) con la finalidad tener el registro de la cantidad de radiación solar que reciben en cada ambiente y su relación con el crecimiento de las plantaciones reforestadas y de regeneración natural.

5.10 Características del suelo

El suelo es fundamental para la mayoría de las especies vegetales. Por tanto, para la presente investigación se tomaron muestras del suelo en la época de seca, acorde a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000; Buduba, 2004), en dos profundidades (0-30 y 30-60 cm) en los tres ambientes (Zi, Zmb y Zlfa), sumando un total de seis muestras compuestas. A estas muestras se le analizaron sus propiedades químicas (pH, CE, MO, Nt, P-Olsen, K, Ca, Mg, Na, CIC, Fe, Cu, Zn y Mn) y física (Textura), en el Laboratorio de Análisis Químico de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Este análisis permitió conocer las diferentes propiedades del suelo en las diferentes profundidades y en los tres ambientes.

5.11 Profundidad del agua

La inundación por efecto de la marea es común en el ecosistema de manglar. Por tanto se monitoreo la profundidad del agua durante 10 meses (de diciembre de 2013 a septiembre de 2014). Este monitoreo se realizó mensualmente en forma zigzag, en nueve puntos de cada sitio de muestreo, usando un flexómetro. Además, se usaron datos históricos de precipitación acumulada (24 horas) de la estación meteorológica Sánchez Magallanes que se encuentra cercana al área de estudio.

5.12 Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico *Statistical Analysis System (SAS)*, versión 9.1. (SAS, 1995), a través del procedimiento de Modelo de Regresión Lineal (GLM). Se analizó la normalidad de los datos de sobrevivencia y crecimiento en plantaciones reforestadas y de regeneración. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambiente (tratamiento), se realizó las pruebas de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para clasificar el mejor ambiente (tratamiento) en cuanto sobrevivencia y crecimiento. Para los datos de regeneración natural se analizó de manera descriptiva, debido que los ambientes Zi y Zlfa no presentaron poblaciones de regeneración natural. Las variables de crecimiento se reportan en promedio y los patrones de mortalidad en porcentaje.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La superficie de los tres ambientes de la unidad experimental se presentó en este orden, zona inundada (Zi) con 25.8 ha, zona de libre fluidez del agua (Zlfa) con 13 ha y zona de marea baja estacional (Zmb) con 11.1 ha. La superficie mencionada en junio del 2012 fue reforestada con la especie *A. germinans*, con un total de 40,800 plantas (Sol *et al.*, 2012).

6.1. Sobrevivencia de plantaciones reforestadas

La sobrevivencia de las plantas reforestadas de mangle negro, mostró diferencia estadística significativa con ($Pr > F = 0.01$) entre tratamientos. La prueba de medias de Tukey presenta dos grupos que son A y B con un alpha de $= 0.05$. El grupo A, corresponde al tratamiento de marea baja estacional (Zmb) con un 71.6 % sobrevivencia y el grupo B a los tratamientos 1 (Zi) y 3 (Zlfa), con 1.1 % y 9.9 % de sobrevivencia, respectivamente (Figura 4). En el segundo muestreo se registró una disminución de los porcentajes mencionados, en el ambiente Zmb se tuvo un 71.1 % de sobrevivencia, en Zi y Zlfa fue de 0.5 % y 6.1 %, respectivamente. En el último muestreo en la Zmb se registró un 67.7 % de sobrevivencia, en la Zi no se reportó sobrevivencia, y en Zlfa fue de 5.5 %. Es decir, que en total la sobrevivencia en el ambiente Zmb fue de 40 plantas por 500 m² y en Zlfa solo 3 plantas sobrevivieron. Con una edad de dos años y tres meses desde su establecimiento.

Es evidente que la Zmb, presentó mayor porcentaje de sobrevivencia de plantas deforestadas, además, fue el único ambiente que presentó poblaciones de regeneración natural. Dado los resultados de la sobrevivencia de la especie de *A. germinans* en el ambiente Zmb se puede afirmar como describe Kohen *et al.* (1995) que este ambiente proporciona las condiciones o requerimientos necesarios para la sobrevivencia y el crecimiento de esta especie en etapa de desarrollo. Las pruebas de deforestación que realizó Febles *et al.* (2009) de la misma especie, sustenta aun mas los resultados descritos de esta investigación, porque obtuvo mayor sobrevivencia (45.7 %) en áreas menos inundadas y con mayor desarrollo con mas alta salinidad (45,5 ups \pm 0,50 ups).

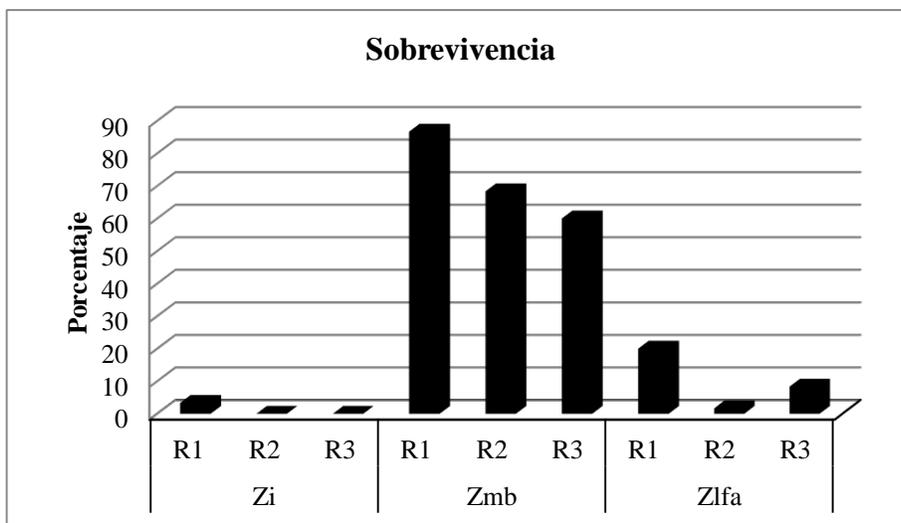


Figura 4. Porcentaje de sobrevivencia en plantaciones reforestadas.

Siglas: R, repetición

6.2. Patrones de mortalidad de plantaciones reforestadas

La clasificación de los patrones de mortalidad no mostraron diferencias estadísticas significativas ($Pr > F = 0.1$) entre tratamientos. Sin embargo, se registró mayor porcentaje de individuos desaparecidos (d) y muertos en pie (mp) en los tres ambientes (Zi, Zmb y Zlfa). En Zi se registró una mortalidad de 73.3 % de individuos desaparecidos (d), 28.8 % en Zmb y 52.1 % en Zlfa. Además en la Zi se registró el 26.1 % de plantas muertas en pie (mp), 1.6 % en la Zmb y 41.6 % en la Zlfa (figura 5).

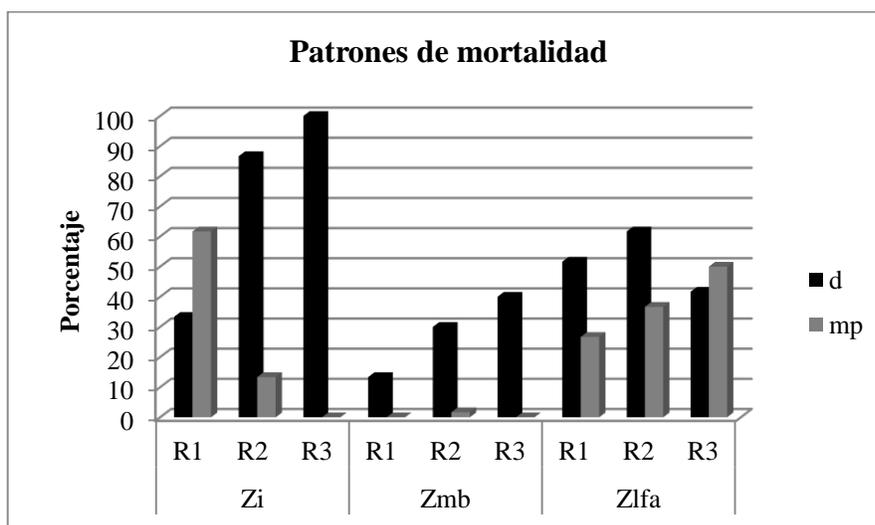


Figura 5. Patrón de mortalidad en los tres tipos de ambientes en plantaciones reforestadas.

Siglas: desaparecido (d), muerto en pie (mp), R: repetición.

La especie *A. germinans* no tolera largos periodos de inundación en los primeros estadios, presentado así, mayor porcentaje de individuos muerto en pie, en las zonas mencionadas. Aunque, la especie presenta neumatóforos para adaptarse a estas condiciones ambientales, no fueron los suficientes para sobrevivir, debido a que éstos fueron escasos y con alturas pequeñas. Tomlinson (1999), menciona que los árboles de los manglares presentan adaptaciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir a la inundación, sin embargo, Reyes de la Cruz *et al.* (2002) menciona que las plántulas y juveniles de éstos, se pueden ahogar cuando quedan cubiertos por niveles altos de agua durante periodos prolongados dada la falta de oxígeno. Jimenez y Lugo (s.f.) afirman que la especie *A. germinans* al estar bajo inundación por más de 48 horas en agua a 40°C son temperatura letales para las plántulas.

El porcentaje de individuos desaparecidos en Zi como en la Zi1a pudieron ser los individuos plantados en las áreas menos accesibles que destaca Sol *et al.* (2012), que fueron reforestados e inundadas en forma temprana y de manera al azar se ubicaron como sitios de muestreo, o también la causa pudo ser la inundación permanente en el área que provocó la descomposición acelerada de los tejidos de las plantas. Cuando el agua impide el acceso del aire hay una oxidación rápida, lo cual actúa como un inhibidor parcial y los únicos agentes que pueden actuar como desintegradores en estas condiciones son hongos, bacterias anaeróbicas, algas y ciertos tipos de animales acuáticos microscópicos, que desintegran los tejidos vegetales (Palma, 2002).

6.3. Patrones de mortalidad de poblaciones de regeneración natural

En los sitios de muestreo de regeneración natural se registraron promedios de cinco a trece plantas, en su mayoría *A. germinans*. También se registró de una a dos plantas de la especie *L. racemosa* y con escasas de *R. mangle*. Durante las dos primeras épocas de evaluación no se presentó patrón alguno de mortalidad de las especies mencionadas. Sin embargo, en la última evaluación se registraron individuos muertos en pie (mp) particularmente de la especie *L. racemosa*. Respecto a las poblaciones de regeneración natural, Hoyos *et al.* (2012) reportan

que la especie *A. germinans* domina sobre las barras arenosas, suelos bien drenadas, cercanos a tierra firme y con los mayores valores promedios de sedimentación (5.10 cm/año). La mortandad mencionado de la especie *L. racemosa* fue por la salinidad elevada del suelo en época de seca. La CONABIO-CONANP (2009), describen que la especie *L. racemosa* tiene menor tolerancia a la salinidad del suelo y agua o se presenta una sustitución de especie como menciona Galmiche y Solana (2011), que la entrada del agua del mar en zonas de crecimiento de *L. racemosa* genera una sustitución por *A. germinans*.

6.4. Crecimiento de plantaciones reforestadas

El crecimiento de plantas reforestadas no mostró diferencia estadística significativa ($Pr > F = 0.2$) entre ambientes. Sin embargo, el mayor crecimiento (en altura de planta) se registró en el ambiente Zmb en el cual las plantas crecieron un promedio de 16 cm, de diciembre 2013 a abril 2014 y 10.8 cm de abril a septiembre. Al inicio de la toma de datos (diciembre 2013) se registró una altura total de 146.2 cm y, a los diez meses una altura de 173.8 cm (Cuadro 4).

Para el ambiente Zlfa las plantas tuvieron un incremento promedio en altura de 3.5 cm en los primeros cinco meses y 3.7 cm de abril a septiembre, siendo la altura inicial promedio de 124.9 cm y al termino de la evaluación la altura promedio fue de 132.2 cm.

La superficie de copa en el ambiente Zmb mostró un aumento promedio de 16.2 cm² en diez meses. En la Zlfa el área de copa mostró un aumento promedio de 11.2 cm² de diciembre 2013 a septiembre 2014.

Para el diámetro del cuello el crecimiento promedio total (a los diez meses) de las plantas reforestadas mostraron de 0.5 y de 0.2 cm, en los ambientes Zmb y Zlfa, respectivamente.

En la Zmb se presentó un incremento promedio en altura de neumatóforos de 9.5 cm a 12.3 cm, en diez meses. Para la Zlfa, fue de 9.0 cm a 13.4 cm de diciembre 2013 a septiembre 2014. El número de neumatóforos en Zmb, aumentó en promedio de 9 a 22, en algunas plantas se registraron con 60 neumatóforos y para la Zlfa fue de 1 a 6 en diez meses.

De acuerdo con los resultados de crecimiento en plantaciones reforestadas el análisis estadístico no mostró diferencia significativa entre ambientes. Respecto al crecimiento de la especie *A. germinans* es afectado por la elevada salinidad del suelo, porque Benfield *et al.* (2005) y López-Hoffman *et al.* (2006), afirman que el crecimiento de la especies *A. germinans*

y *L. racemosa* está afectada por la cantidad de sal del suelo y agua. Asimismo, IUSS *et al.* (2007), menciona que la acumulación excesiva de sales en suelos afecta el crecimiento de las plantas de dos maneras: • Las sales agravan el stress hídrico, porque los electrolitos disueltos crean un potencial osmótico que afecta la absorción de agua por las plantas. Antes de tomar algo de agua, las plantas deben compensar las fuerzas combinadas del potencial mátrico hídrico del suelo. La fuerza con que la matriz del suelo retiene agua, y el potencial osmótico. • También las sales trastornan el balance de iones de la solución del suelo porque los nutrientes están proporcionalmente menos disponibles. Se sabe que existen efectos antagónicos, entre Na y K, entre Na y Ca, y entre Mg y K. En mayores concentraciones las sales pueden directamente ser tóxicas para las plantas. Al respecto, los iones Na y cloruro porque son muy dañinos y perturban el metabolismo de N.

Cuadro 4. Incrementos de las variables de la planta.

| Ambiente | h | sc1 | sc2 | dc | an | nn |
|-----------|-------|------|------|-----|------|-----|
| Zmb-Prf* | 146.2 | 60.8 | 58.2 | 1.6 | 9.5 | 9.3 |
| Zlfa-Prf* | 124.9 | 40.5 | 44.5 | 1.2 | 9.0 | 1.3 |
| Zmb-Prn* | 99.73 | 32.8 | 33.5 | 1.1 | 5.8 | 3.5 |
| Zmb-Prf+ | 173.9 | 77.2 | 74.2 | 2.1 | 12.3 | 22 |
| Zlfa-Prf+ | 132.2 | 54.3 | 53.2 | 1.5 | 13.4 | 6.4 |
| Zmb-Prn+ | 129.9 | 54.6 | 54.8 | 1.7 | 8.0 | 8.8 |

Siglas: Zmb, Zona de marea baja; Zlfa, Zona de libre fluidez del agua; Prf, Plantación reforestada; Prn, Población de regeneración natural; *, Diciembre 2013; +, Septiembre 2014; h, altura; sc sc1, superficie de copa 1 y 2; dc, diámetro de cuello; an, altura de neumatóforos; nn, numero de neumatóforos.

6.5. Crecimiento de población natural regeneración natural.

El crecimiento en altura de poblaciones de regeneración natural en promedio fue de 30.15 cm en diez meses. La superficie de copa se registró un incremento promedio de 21.5 cm² a los diez meses. El diámetro de cuello tuvo un incremento promedio de 0.5 cm. El crecimiento

promedio en altura de neumatóforos fue de 2.2 cm y la cantidad aumento con un promedio de 5 neumatóforos por planta en diez meses (Cuadro 4).

La población de regeneración natural de mangle negro es una especie fuertemente intolerante a la sombra de otros árboles que la dominan y requiere espacios abiertos y zonas menos inundables para regenerar (Febles *et al.* 2009; Domínguez *et al.*, 2011).

6.6. Porcentaje de luz

El porcentaje de radiación solar que reciben las plantaciones reforestadas y de regeneración natural fueron de: Zi 831.8 nm m²s; Zmb 968.4 nm m²s y Zlfa 434 nm m²s (cuadro 5). Evidentemente la Zmb, presentó mayor porcentaje de radiación solar, el cual permitió desarrollar los diversos procesos fisiológicos de la planta y por consecuencia presenta mayor crecimiento y mayor porcentaje de sobrevivencia como los describe Valladares *et al.*, (2004) y Alcaraz (2012) que mayor porcentaje lumínico en un sitio es un nicho de regeneración de las plantas y mayor crecimiento. Muestra de ello, que la regeneración natural en la Zi y Zlfa, no hubo registro. Aunque en la Zi se registró mayor porcentaje de radiación solar, no favoreció la sobrevivencia de las plantas reforestadas debido a largos periodos de inundación.

Asimismo, la disponibilidad de luz no es el único factor que interviene en el crecimiento de los manglares. Se ha identificado que una salinidad alta del agua intersticial puede restringir el crecimiento de las plántulas de *A. germinans* y *L. racemosa*, independientemente de que cuenten con alta disponibilidad de luz (Benfield *et al.*, 2005; López-Hoffman *et al.*, 2006). En particular la especie *A. germinans*, no soporta la sombra de otros árboles que la dominan y requiere espacios abiertos para regenerar (Domínguez *et al.*, 2011).

Cuadro 5. Radiación solar en los tres ambientes, en nm m²s

| Zi | Zmb | Zlfa |
|-------|-------|------|
| 831.8 | 968.4 | 434 |

6.7. Propiedades físicas y químicas del Suelo

El análisis físico y químico del suelo de 0 a 30 cm de profundidad fue el siguiente: un pH modernamente ácido (5.58 a 6.57) y conductividad eléctrica (CE) característica de un suelo fuertemente salino (12.24 a 15.98 ds m^{-1}) en los tres ambientes. El ambiente Zlfa, presentó alto contenido de materia orgánica (5.7 %) al igual que los ambientes Zi y Zmb (8.6 y 15.5 %). También presentaron altos contenidos de nitrógeno total (Nt) en los tres ambientes (0.2 a 0.4 %). El contenido de fósforo (P Olsen) fueron altos en los tres ambientes (12.1 a 23.9 Mg kg^{-1}). Las bases intercambiables de K, Ca, Mg y Na presentan altas concentraciones en los tres ambientes y como resultado una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los ambientes Zlfa y Zi (34.4 a 37.4 $\text{cmol}_{(+) } \text{kg}^{-1}$ de suelo) y muy alta el ambiente Zmb (42.9 $\text{cmol}_{(+) } \text{kg}^{-1}$ de suelo). El micronutriente hierro (Fe) en Zlfa, Zi y Zmb fue de 86.9, 204.2 y 225.4 mg kg^{-1} , respectivamente. El elemento cobre (Cu) se presentó de 7.1, 7.7 y 4.0 mg kg^{-1} . El elemento Zn fue de 4.3, 7.0 y 7.1 mg kg^{-1} , asimismo, el elemento manganeso (Mn) se presentó de 34.1, 51.9 y 192.5 mg kg^{-1} . Ambas profundidades del suelo tuvieron una textura arcillosa (Cuadro 6).

El análisis del suelo a la profundidad de 30 a 60 cm en los tres ambientes presentaron un pH moderadamente ácido (5.56 a 6.75) y conductividad eléctrica (CE) de un suelo fuertemente salino en los ambientes Zlfa y Zi (10.8 y 10.1 dS m^{-1}) y muy fuertemente salino para Zmb (21.26 dS m^{-1}). A esta profundidad del suelo presentó un contenido medio de materia orgánica en Zlfa y Zi (2.8 y 2.7 %) y alto para la Zmb (14.7 %). El contenido de nitrógeno total (Nt) en Zlfa y Zi fue medio de 0.10 y 0.12 % y muy alto en la Zmb (0.46 %). En los ambientes Zlfa y Zi presentaron un contenido medio de fósforo (P Olsen) (4.6 a 6.6 Mg kg^{-1}) y alto contenido para Zmb (13.3 Mg kg^{-1}). Las bases intercambiables de K, Ca, Mg y Na presentan altas concentraciones en los tres ambientes mostrando así, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los ambientes Zlfa y Zi (30.4 a 28.9 $\text{cmol}_{(+) } \text{kg}^{-1}$ de suelo) y muy alta en Zmb (42.9 $\text{cmol}_{(+) } \text{kg}^{-1}$ de suelo). El micronutriente hierro (Fe) en Zlfa, Zi y Zmb fue de 13.7, 28.9 y 336.5; cobre (Cu) de 4.6, 4.9 y 3.2; zinc (Zn) de 1.7, 2.9 y 6.5 y manganeso (Mn) 38, 34.2 y 139.

De acuerdo con los resultados de la CE y Na en los tres ambientes son suelos salinos a muy salinos que se clasifica como suelo Solonchak de acuerdo a IUSS *et al.* (2007) misma, que reporta Bojórquez *et al.* (2008) como suelo Solonchak con resultados de (CE, 12.6 a 42.2

ds.m⁻¹) con (Na, 8.5 a 51.8 cmol (+) kg⁻¹), datos similares en el análisis del suelo realizado en esta investigación (Cuadro 6). El tipo de suelo mencionado, presentan efectos antagónicos entre Na y K, entre Na y Ca, y entre Mg y K y los nutrientes están proporcionalmente menos disponibles (IUSS *et al.*, 2007).

Estos suelos salinos se localizan en una gran variedad de relieves, principalmente en llanuras fluvio-marinas, porque presentan intrusión de agua salina por efecto de la marea o por el manto freático y con textura arcillosa (Zavala *et al.* 1999; Palma *et al.* 2006). En un estudio de López *et al.* (2011) en cinco bosques de manglar en la región centro occidental del territorio venezolano; cuatro ubicados en la península de Paraguaná y uno en el continente, en la desembocadura del río Ricoa, reportan la dominancia de la textura arcillosa en los suelos del manglar arbóreo estuarino y del achaparrado de laguna hipersalina. En el resto de los manglares prevaleció la textura franco arcilloso arenoso. En el área de estudio presentó textura arcillosa en los tres ambientes coincidiendo con el reporte de los autores mencionados.

Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del suelo.

| Ambiente | pH (H ₂ O) | CE | MO | Nt | P Olsen | K | Ca | Mg | Na | CIC | Fe | Cu | Zn | Mn | Arcilla | Limo | Arena | Clasificación |
|---------------|-----------------------|-------|-------|------|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|--------|---------|------|----------|---------------|
| | rel. 1:2 | | % | | mg kg ⁻¹ | cmol kg ⁻¹ | | | | mg kg ⁻¹ | | | | % | | | Textural | |
| Zlfa 0-30 cm | 6.57 | 12.24 | 5.71 | 0.23 | 12.1 | 6.79 | 12.19 | 22.48 | 63.56 | 34.44 | 86.9 | 7.106 | 4.256 | 3 | 67 | 27 | 6 | Arcilla |
| Zlfa 30-60 cm | 6.75 | 10.83 | 2.85 | 0.1 | 4.6 | 5.27 | 15.19 | 22.33 | 42.43 | 30.45 | 13.78 | 4.67 | 1.722 | 3.2 | 73 | 25 | 2 | Arcilla |
| Zi 0-30 cm | 6.24 | 13.71 | 8.69 | 0.3 | 19.83 | 4.81 | 11.91 | 27.51 | 57.3 | 37.44 | 204.2 | 7.72 | 7.688 | 4.36 | 63 | 21 | 16 | Arcilla |
| Zi 30-60 cm | 6.59 | 10.19 | 2.73 | 0.12 | 6.61 | 4.8 | 9.79 | 20.54 | 46.17 | 28.95 | 28.98 | 4.9 | 2.9 | 2.82 | 65 | 25 | 10 | Arcilla |
| Zmb 0-30 cm | 5.58 | 15.98 | 15.51 | 0.49 | 23.9 | 6.62 | 14.95 | 32.48 | 69.65 | 42.93 | 225.4 | 4.064 | 7.24 | 24.012 | 53 | 27 | 20 | Arcilla |
| Zmb 30-60 cm | 5.56 | 21.26 | 14.74 | 0.46 | 13.36 | 8.3 | 16.88 | 37.55 | 154.3 | 42.93 | 336.5 | 3.206 | 6.508 | 11.753 | 49 | 27 | 24 | Arcilla |

Siglas: CE conductividad eléctrica; MO Materia orgánica; Nt Nitrógeno total; K Potasio; Ca Calcio; Mg Magnesio; Na Sodio; CIC Capacidad de Intercambio Cationico; Fe Hierro; Cu Cobre; Zn Zinc; Mn Manganeseo.

6.8. Profundidad del Agua

La profundidad del agua en Zmb sólo presentó inundación hasta enero de 2014. Para la Zi presentó inundación durante los 10 meses de monitoreo, y a principios de febrero a agosto se mantuvo una profundidad de 8 a 12 cm. La Zlfa a final del mes de enero a mayo tuvo una profundidad de 2 a 6 cm., y en los meses de julio a agosto no presentó inundación (cuadro 7).

La profundidad del agua en el ecosistemas manglar, se relaciona con la microtopografía de pequeñas pendientes, que pueden marcar diferencias y tener efecto en la sobrevivencia de la especie *A. germinans*. Asimismo, la marea es un elemento natural que distribuye las semillas de las especies de mangle. A demás, condiciona el ecosistema para mantener su estructura y función (Carrillo *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). Las especies de mangle presentan adaptaciones fisiológicas contra las mareas. Por ejemplo, la especie *R. mangle* crece en zonas inundadas en las orillas de lagunas donde el flujo del agua es constante (Ortiz y Méndez, 2000), y para el caso de *A. germinans*, crece en el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos fuerte y con mayor tolerancia a condiciones de alta salinidad de 40 mg m hasta 100 mg m, gracias a las glándulas secretoras de sal en sus hojas (Cordero y Boshier 2003).

Cuadro 7. Profundidad del agua en cm en los diez meses de monitoreo.

| Ambiente | D* | E | F | M | A | M | J | Ju | A | S |
|-----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| Zi | 90 | 34 | 7 | 7 | 7 | 10 | 7 | 4 | 4 | 23 |
| Zmb | 53 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zlfa | 80 | 21 | 5 | 7 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 9 |

Siglas: D* Diciembre 2013; E Enero; F Febrero; M Marzo; A Abril; M Mayo; J Junio; Ju Julio; A Agosto; S Septiembre.

VII. SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE MANGLE NEGRO (*AVICENNIA GERMINANS* L.) EN PLANTACIONES REFORESTADAS Y REGENERACIÓN NATURAL

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue cuantificar la sobrevivencia de mangle negro *Avicennia germinans* L., patrones de mortalidad y crecimiento de las plantas en áreas reforestadas en el Ejido Las Coloradas, Cárdenas, Tabasco. La plantación fue establecida en junio del 2012 en una superficie de 50 ha. En tres ambientes (1: Zona inundada Zi; 2: Zona de marea baja Zmb y 3: Zona de libre fluidez del agua Zlfa), en cada ambiente se ubicaron al azar tres sitios de monitoreo de 500 m². Las variables evaluadas fueron sobrevivencia y patrones de mortalidad, altura de planta (h), superficie de copa (sc), diámetro de cuello (dc), número y altura de neumatóforos (nn, an). Se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tukey, P 0.05) respecto al porcentaje de sobrevivencia entre tratamientos. La prueba de medias de Tukey identificó dos grupos (A y B) con un $\alpha = 0.05$. El grupo A corresponde al ambiente a Zmb con un 67.7 % de sobrevivencia, y el grupo B a los ambientes Zi y Zlfa, con 0 % y 5.5% de sobrevivencia, respectivamente. Los patrones de mortalidad no mostraron diferencias estadísticas significativas. En crecimiento no se registró diferencias estadísticas significativas. La Zmb de plantación reforestada tuvo un crecimiento de (h: 27 cm, sc1: 16.3 cm, sc2: 15.9 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.8 cm y nn: 13). En el ambiente Zlfa se tuvo un crecimiento de (h: 7.2 cm, sc1: 13.3 cm, sc2: 8.7 cm, dc: 0.2 cm, an: 4.3 y nn: 5.1). La regeneración natural en el ambiente Zmb mostró un crecimiento de h: 30.1 cm, sc1: 21.8 cm, sc2: 21.3 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.2 cm y nn: 5.3 cm. Se concluye que la sobrevivencia y crecimiento del mangle negro en áreas reforestadas o poblaciones de regeneración natural se ven favorecidas cuando existe un menor tiempo de inundación.

Palabras clave: Reforestación, Radiación solar, marea, neumatóforos.

Enviado a la revista Madera y Bosques.

ABSTRACT

The objective of this research was to quantify the survival of black mangrove *Avicennia germinans* L., mortality patterns and plant growth in the reforested areas in the Ejido Las Coloradas, Cardenas, Tabasco areas. The plantation was established in June 2012 in an area of 50 ha. At three sites (1: flooded zone ZI, 2: Zone tide Zmb and 3: Zone free flowing water Zlfa) in each environment monitoring three sites were randomly located 500 m². The variables evaluated were survival and mortality patterns, plant height (h), canopy surface (sc), diameter of the neck of the plant (dc), number and height of pneumatophores (nn, an). Significant statistical differences were found (Tukey, P 0.05) in the percentage of survival between treatments. The Tukey test identified two groups (A and B) with an alpha = 0.05. Group A correspond to a Zmb environment with 67.7% survival, and the Zi and B Zlfa group environments, with 0% and 5.5% survival, respectively. Mortality patterns showed no statistically significant differences. The growth was not statistically different. The Zmb reforestation plantation grew by (h: 27 cm, sc1: 16.3 cm, sc2: 15.9 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.8 cm and nn: 13). In the environment Zlfa growth (h: 7.2 cm, sc1: 13.3 cm, sc2: 8.7 cm, dc: 0.2 cm, an: 4.3 cm and nn: 5.1) were reported. Natural regeneration in the Zmb environment showed a growth h: 30.1 cm, sc1: 21.8 cm, sc2: 21.3 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.2 cm and nn: 5.3. We conclude that the survival and growth of black mangrove reforestation areas or populations of natural regeneration is favored by the short time flood.

Key words: Reforestation, Solar radiation, Tide, Pneumatophores.

7.1 INTRODUCCIÓN

Los manglares son comunidades vegetales presentes a lo largo de las costas tropicales y subtropicales del planeta, y se ubican en la zona de convergencia entre el mar y la tierra. Estos ecosistemas conformados por plantas y animales tienen una serie de adaptaciones fisiológicas que permiten desarrollarse en terrenos frecuentemente inundados con aguas hipersalinas (Carrillo *et al.*, 2008). A nivel mundial existe un total de 73 especies de mangle que son en su mayoría árboles y arbustos (Chan *et al.*, 2012). Este tipo de ecosistema ocupa a nivel mundial 152,361 km², de superficie (Spalding *et al.*, 2010).

En México predominan cuatro especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Ga-erth.), mangle negro (*Avicennia germinans* L.) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.), en una superficie de 582, 415 ha (Rodríguez *et al.*, 2013) y en el estado de Tabasco existe una superficie 41, 498.5 ha (Domínguez *et al.*, 2011). Las cuatro especies mencionadas mantienen el equilibrio del ecosistema de manglar y brindan servicios ambientales de importancia ecológica y social (CONABIO, 2008).

Los servicios ambientales que brinda el manglar son: captura y almacena CO₂ y libera O₂ como resultado de procesos de fotosíntesis, respiración y degradación de materia seca; ciertamente los manglares liberan menos carbono que otros ecosistemas forestales (Sanjurjo y Welsh, 2005). El ecosistema manglar almacenan entre 12.8 y 39.9 Kg Cm², durante las estaciones de secas y nortes (Moreno *et al.*, 2010). Además sirve de protección a las zonas costeras ante fenómenos naturales (huracán, tormentas, inundaciones), y contribuye a la conservación de fauna y flora y a la producción de agua, alimento, medicina, recursos genéticos, y actividades productivas (Schuyt y Brander, 2004; Barba *et al.*, 2010; Wood *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013).

Sin embargo, el ecosistema manglar es uno de los más sujetos a deterioro, por el aprovechamiento irracional de sus recursos, más allá de su capacidad de recuperación (Basáñez *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2010). Además los residuos contaminantes de las industrias afectan la alimentación y reproducción de la vida acuática, tanto a plantas, insectos y peces (Reeves, 2005; Olguín *et al.*, 2007; Hernández-Menchor, 2013). Aunado a lo anterior, también están las afectaciones de origen natural poco extendidas y puntuales (Rodríguez *et al.*, 2013).

Entre estas el deterioro del manglar por la acción abrasiva del mar sobre las costas y aumento de su nivel medio de las mareas; desaparición de lagunas costeras por colmatación o cierre natural de canales; acumulación de arenas debido a cambios en la dinámica costera y migración de los sedimentos, ocasionando recubrimiento de las raíces de los mangles y causando su muerte; efecto destructivo por eventos meteorológicos extremos (ciclones y huracanes) y variaciones del régimen hídrico (disminución de las precipitaciones).

Debido a estos impactos, el ecosistema de manglar en el año 1980, México contaba con 1.12 millones de ha, y para el 2005, tal superficie había descendido a 820 000 ha, es decir una pérdida anual de 12,000 ha (4%) durante 25 años (FAO, 2007). Por ello, muchas instituciones se han dado a la tarea de generar información mediante investigación científica proporcionando elementos para disminuir los efectos e impactos negativos hacia estos ecosistemas naturales. Entre las estrategias de conservación están el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP), parques y museos entre otros, con la finalidad de conservar, cuidar, mantener y estudiar a las comunidades vegetales y animales a través de un plan de manejo que favorece su conservación (Carmona *et al.*, 2004). Actualmente existen diversos programas: como la investigación, educación ambiental y conservación para el manejo sustentable de los manglares (Carmona *et al.*, 2004; Linares *et al.*, 2004).

Por tanto, mantener la estructura y función del ecosistema de manglar involucra los elementos bióticos y abióticos (temperatura, precipitación, hidrología, suelo) y la contrición de cada uno de los elementos, permite una mayor productividad del ecosistema (Rodríguez *et al.*, 2013).

La hidrología es parte fundamental del ecosistema como elemento abiótico, que ocasiona cambios en la estructura y función, mostrando así, que cada especie se distribuye en función de la hidrología hipersalina (marea) y a la capacidad de adaptación de la especie (Carrillo *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). Por ejemplo, el mangle rojo (*R. mangle*) crece en zonas inundadas en las orillas de lagunas donde el flujo del agua es constante (Ortiz y Méndez, 2000). Para el caso del mangle negro (*A. germinans*), crece mejor en el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente con un corto tiempo de inundación, debido su estado fisiológico de adaptación en el medio. Aunque es la especie que tiene mayor tolerancia a condiciones de alta salinidad, pues se ubica en concentraciones mayores de 40 por mil, hasta

100 por mil, debido a las glándulas secretoras de sal en sus hojas (Cordero y Boshier, 2003). Esto evidencia que el nivel de agua de mar en zonas de crecimiento de mangle blanco (*L. racemosa*) genera una sustitución por mangle negro (*A. germinans*) debido a salinidades altas (Galmiche y Solana, 2011).

Respecto a los grupos de suelos como, Histosoles Solonchaks, Gleysoles y Tecnosoles son los suelos que se pueden encontrar en los manglares, predominando los primeros dos (Moreno *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2011). Estos suelos de manglar se caracterizan por tener un alto contenido de agua, sal y sulfuro de hidrógeno y un bajo contenido de oxígeno y elevada proporción de materia orgánica (Lewis, 2005). La salinidad en los sedimentos (salinidad intersticial) de los manglares depende del tipo de hidrología que prevalezca en ellos. Las variaciones de la profundidad, producto de las pequeñas escalas de pendientes del terreno manglar ejerce una presión física que actúa como restrictivo para la expansión del manglar (Ortiz y Méndez, 2000), así mismo, las estaciones más lluviosas estabilizan, los niveles de salinidad en rangos entre los 49 -55 % (Rodríguez *et al.*, 2013).

El pH del agua en el ecosistema manglar es variable debido al periodo de inundación. El pH del agua intersticial mayor será en periodos largos de inundación (Yáñez *et al.*, 2001), el cual se puede encontrar de 4.7 a 5.0, calificado como un suelo ácido (García, 2005).

De acuerdo a Kohen *et al.* (1995) el crecimiento de las plantas es dependiente de la variación genética y de las condiciones ambientales (relación planta-suelo-atmósfera). Por tanto, la cantidad de radiación disponible influye en los procesos fisiológicos, morfogenéticos y reproductivos de plantas y afecta de forma significativa al funcionamiento general del ecosistema (Kohen *et al.*, 1995). También desencadena diversos procesos evolutivos en los que entran en juego desde la adaptación a la radiación media disponible, hasta la coevolución entre animales y plantas o parásitos y huéspedes, pasando por la flexibilidad o plasticidad para acomodarse a los cambios espaciales y temporales de la radiación (Valladares *et al.*, 2004; Alcaraz, 2012).

Por tanto, la necesidad de considerar elementos bióticos en la sobrevivencia y crecimiento de la especie de interés, particularmente cuando se realiza la reforestación con mangle negro. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo de cuantificar la sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (*A. germinans*), en plantaciones reforestadas y

de regeneración natural en el ejido “Las Coloradas”, Cárdenas, Tabasco. Área fuertemente afectada por la oruga *Anacamptodes* spp., en el año 2010 (Sol *et al.*, 2012).

7.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó de diciembre 2013 a septiembre 2014, en el ecosistema de manglar ubicado en el Ejido “Las Coloradas”, Cárdenas, Tabasco, situado entre las coordenadas en UTM 2026900 y 441000 (Figura 1). Este ecosistema de manglar se ubica en la planicie baja de inundación lagunar (Ortiz *et al.*, 2005), en suelos Solonchaks, Gleysoles, Histosoles, Tecnosoles (Palma *et al.*, 2006, Domínguez *et al.*, 2011). El tipo de clima Am (w) está distribuido en la gran planicie de la llanura del Golfo (SEDESPA, 2006). La precipitación varía de 1500 mm anuales en el extremo oeste hasta los 2000 mm en la Boca del Tonalá (Palma *et al.*, 2006).

La unidad experimental correspondió a una superficie de 50 hectáreas, área que fue reforestada con la especie *A. germinans* (Sol *et al.*, 2012). En esta superficie se delimitó tres ambientes, siendo: Zona inundada (Zi), Zona marea baja (Zmb) y Zona de libre fluidez del agua (Zlfa). La delimitación de estos tres ambientes se realizó usando el software Arc GIS 9 (ArcMap versión 9.3), por el método de interpolación de Spline (Álvarez *et al.*, 2011), y con base en los datos de profundidad del agua de los sitios de muestreo.

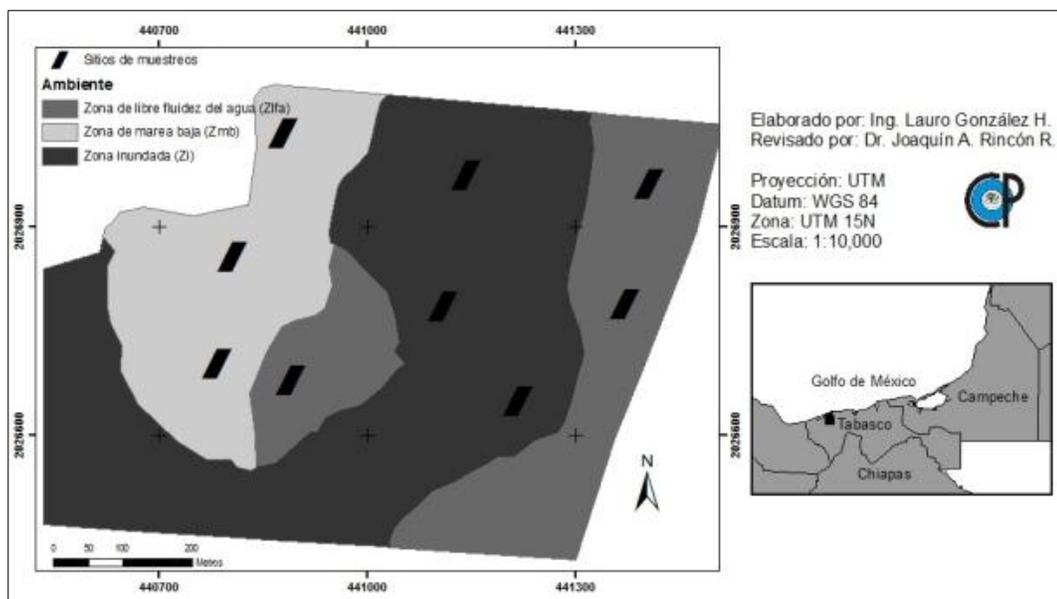


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

En cada ambiente se establecieron tres sitios permanentes de monitoreo, dando un total de nueve sitios. Estos sitios se establecieron a una distancia de 200 metros aproximadamente uno del otro, bajo un diseño completamente al azar (Herrera y García, 2010). Cada sitio tuvo una superficie de 500 m² (50 m largo x 10 m ancho) de acuerdo a Melo y Vargas (2003). En estos sitios se tomaron los datos de plantas reforestadas (Prf) y regeneración natural (Prn) (Figura 2).

En cada sitio de muestreo se establecieron tres parcelas permanentes de monitoreo para registrar datos de Prn, con una superficie de 4 m² (2 m x 2 m), considerando todas las plantas presentes en el cuadrante.

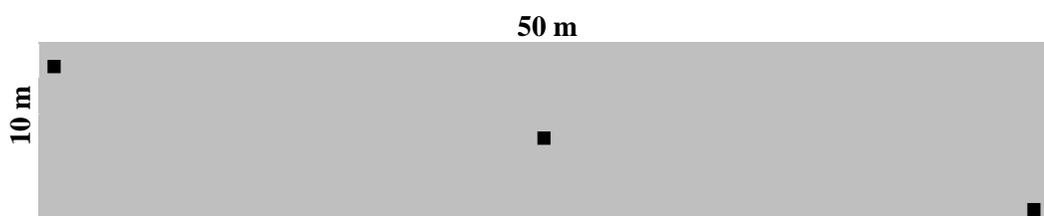


Figura 2. Diseño de los sitios de muestreo.

- Indica los puntos de muestreo de la regeneración natural con una dimensión 4 m²

La sobrevivencia y el patrón de mortalidad se cuantificó con base al total plantado en cada sitio de muestreo. El porcentaje de mortalidad se agrupó por patrones de mortalidad, siendo: muerto en pie (mp), tronco partido (tp), caído de raíz (cr), individuos desaparecidos (de), cortado (cor) y sin clasificación (scla) (Londoño y Álvarez, 1997; Londoño y Jiménez, 1999).

Para el crecimiento de las plantas reforestadas y de regeneración natural se midió la altura (h), superficie de copa (sc1 y sc2), diámetro de cuello (dc) y altura de neumatóforos (an) con base en criterios de Barrera *et al.* (s.f). Las variables fueron tomadas en tres épocas del año: norte (Diciembre, 2013), seca (Abril, 2014), y lluvia (Septiembre, 2014) de acuerdo a Aceves *et al.* (2008).

Con los datos de las variables de crecimiento se calculó la tasa relativa de crecimiento dasométrico (Sosa y Rodríguez, 2003 y Carrillo *et al.*, 2008).

Tasa relativa de crecimiento (TRC) en altura:

$$\text{TRC} = \text{altura 2} - \text{altura 1}$$

Porcentaje de incremento (PI) en altura

$$PI = ((\text{altura 2} - \text{altura 1}) / \text{altura 1}) (100)$$

Tasa relativa de crecimiento (TRC) en diámetro

$$TRC = \text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}$$

Porcentaje de incremento (PI) en diámetro

$$PI = ((\text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}) / \text{diámetro 1}) (100)$$

Asimismo, se contabilizó el número total de neumatóforos por planta, tomando como referencia a la planta y la superficie de copa más alejada, se formó una circunferencia alrededor que integre la totalidad de los neumatóforos (Vilmarie, 2008).

Para medir la radiación se tomaron lecturas de radiación solar en 15 puntos en cada sitio de muestreo en los tres ambientes (Valladares, 2004). Esta se realizó usando un equipo LI-COR Terrestrial Radiation con un sensor Quantum Q 40829, a las 12:00 y 13:00 horas, momento de mayor radiación solar. Estos datos se contrastaron con el crecimiento de las plantaciones reforestadas y de regeneración natural.

Se tomaron muestras del suelo en la época seca acorde a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000; Buduba, 2004) en dos profundidades ($0 \geq 30$ cm y $30 \geq 60$ cm) dando un total de seis muestras compuestas. A estas muestras se le analizaron sus propiedades químicas (pH, CE, MO, Nt, P-Olsen, K, Ca, Mg, Na, CIC, Fe, Cu, Zn y Mn) y física (Textura), en el Laboratorio de Análisis Químico de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados (Campus Tabasco).

En campo se registraron datos de profundidad del agua durante 10 meses (Diciembre, 2013 a septiembre, 2014), se consideraron datos históricos de precipitación con base a la estación meteorológica de Sánchez Magallanes, cercana al área de estudio.

El diseño experimental empleado fue un factorial de 2×3 , haciendo un total de seis tratamientos (Herrera y García, 2010). Los seis tratamientos fueron la combinación de los tres ambientes: Zona inundada (Zi); Zona de marea baja (zmb) y Zona del libre (Zlfa), y el otro factor fue el tipo de plantación con dos niveles: Plantaciones reforestadas (Prf) y Plantas de regeneración natural (Prn).

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico *Statistical Analysis System* (SAS), versión 9.1. (SAS, 1995), a través del procedimiento de Modelo de Regresión Lineal (GLM). Se analizó la normalidad de los datos de sobrevivencia y crecimiento en plantaciones reforestadas y de regeneración. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas

entre ambiente (tratamiento), se realizó las pruebas de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para clasificar el mejor ambiente (tratamiento) en cuanto sobrevivencia y crecimiento. Para los datos de regeneración natural se analizó de manera descriptiva, debido que los ambientes Zi y Zlfa no presentaron poblaciones de regeneración natural. Las variables de crecimiento se reportan en promedio y los patrones de mortalidad en porcentaje.

7.3 RESULTADOS

La sobrevivencia de las plantas trasplantadas (Prf) de mangle negro mostró diferencias estadísticas significativa entre tratamientos ($Pr > F = 0.01$). La prueba de medias de Tukey separo dos grupos (con un α de 0.05). El primer grupo corresponde al tratamiento de marea baja estacional (Zmb) con un 71.6 % de sobrevivencia y el grupo dos a los tratamientos Zi y Zlfa con 1.1 % y 9.9 % de sobrevivencia, respectivamente. En el segundo muestreo se tuvo una disminución de los porcentajes mencionados. En el ambiente Zmb se tuvo un 71.1 % de sobrevivencia, en Zi y Zlfa fue de 0.5 % y 6.1 %, respectivamente. En el último muestreo en el ambiente Zmb se registró con 67.7 % de sobrevivencia, en el Zi no se reportó sobrevivencia, y en Zlfa fue de 5.5 %. Es decir, que en total la sobrevivencia en el ambiente Zmb fue de 40 plantas por 500 m² y en Zlfa con 3 plantas sobrevivientes (Figura 3). Con una edad de 2 años y 3 meses de desde su establecimiento.

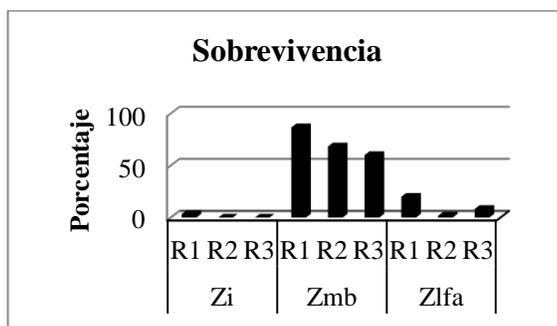


Figura 3. Porcentaje de supervivencia en plantaciones reforestadas. Siglas: R, Repetición.

Respecto a los patrones de mortalidad no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos ($Pr > F = 0.1$). El mayor porcentaje de individuos desaparecidos (d) y muerto en pie (mp) en los tres ambientes fue como sigue: en Zi se registró una mortalidad del 73.3 %, 28.8 % en Zmb y 52.1 % en Zlfa. Además en Zi se registró 26.1 % de plantas muertas en pie (mp), 1.6 % en Zmb y 41.6 % en Zlfa (Figura 4).

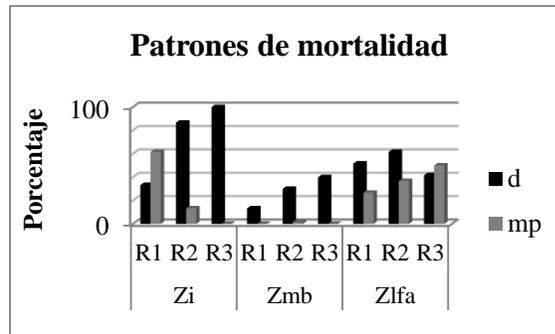


Figura 4. Patrones de mortalidad en los tres tipos de ambientes en plantaciones reforestadas. Siglas: Desaparecido (d), muerto en pie (mp).

En la regeneración natural se registraron de cinco a trece plantas por lote de muestreo, en su mayoría *A. germinans*. También se registro de una a dos plantas de la especie *L. racemosa* y rara vez de *R. mangle*. Durante las dos primeras épocas de evaluación no se presentó patrón de mortalidad de las especies mencionadas. Sin embargo, en la última evaluación se registraron individuos muertos en pie (mp) particularmente a la especie *L. racemosa*, en su totalidad.

El crecimiento de plantaciones reforestadas no mostró diferencia estadística significativa entre ambiente ($Pr > F = 0.2$). Sin embargo, el mayor crecimiento en altura se registró en la Zmb el cual fue de 16 cm, del diciembre 2013 a abril 2014 y creció 10.8 cm de abril a septiembre. Este menor crecimiento se debe a largos períodos de sequía de la zona, lo cual reflejo mayormente en el último periodo de de medición que creció 10.8 cm. Al inicio se registró una altura total de 146.2 cm y, a los diez meses una altura de 173.8 cm (Cuadro 1).

Para el ambiente Zlfa las plantas mostraron un crecimiento en altura de 3.5 cm en los primeros cinco meses y 3.7 cm de abril a septiembre, siendo la altura inicial de 124.9 cm y al termino de la evaluación con una altura de 132.2 cm.

La superficie de copa en el ambiente Zmb mostro un aumento de 16.2 cm² en diez meses. En la Zlfa el área de copa mostro un aumento de 11.2 cm² en diciembre 2013 a septiembre 2014.

El diámetro del cuello de las plantas reforestadas en el ambiente Zmb se registró un crecimiento total de 0.5 cm. Para Zlfa, el crecimiento del diámetro de cuello fue de 0.2 cm.

En la Zmb se presentó un incremento en altura de neumatóforos de 9.5 cm a 12.3 cm, en diez meses. Para Zlfa, fue de 9.0 cm a 13.4 cm en diciembre 2013 a septiembre 2014 El número de neumatóforos en Zmb, aumento de 9 a 22 y para la Zlfa de 1 a 6 en diez meses.

El incremento en altura de plantas provenientes de la regeneración natural en el ambiente Zmb, fue de 99.7 cm a 129.9 cm durante los 10 meses. La superficie de copa se registro con un aumento de 21.5 cm² a los 10 meses. El diámetro de cuello (dc) tuvo un crecimiento 0.5 cm. La altura de los neumatóforos a los diez meses fue de 5.8 cm a 8 cm y el número de neumatóforos fue de 3 a 9 en promedios.

Cuadro 1. Incrementos en las variables de la planta.

| Ambiente | h | sc1 | sc2 | dc | an | nn |
|-----------|-------|------|------|-----|------|-----|
| Zmb-Prf* | 146.2 | 60.8 | 58.2 | 1.6 | 9.5 | 9.3 |
| Zlfa-Prf* | 124.9 | 40.5 | 44.5 | 1.2 | 9.0 | 1.3 |
| Zmb-Prn* | 99.73 | 32.8 | 33.5 | 1.1 | 5.8 | 3.5 |
| Zmb-Prf+ | 173.9 | 77.2 | 74.2 | 2.1 | 12.3 | 22 |
| Zlfa-Prf+ | 132.2 | 54.3 | 53.2 | 1.5 | 13.4 | 6.4 |
| Zmb-Prn+ | 129.9 | 54.6 | 54.8 | 1.7 | 8.0 | 8.8 |

Siglas: Zmb, Zona de marea baja; Zlfa, Zona de libre fluidez del agua; Prf, Plantación reforestada; Prn, Población de regeneración natural; *, Diciembre 2013; +, Septiembre 2014; h, altura; sc sc1, superficie de copa 1 y 2; dc, diámetro de cuello; an, altura de neumatóforos; nn, numero de neumatóforos.

El porcentaje de radiación solar que reciben las plantas reforestadas y de regeneración natural fueron de: Zi, 831.8 nm m²s; Zmb, 968.4 nm m²s y Zlfa, 434 nm m²s. Medido a las 12.00 a 13.00 horas.

El análisis físico y químico del suelo de 0 a 30 cm de profundidad fue el siguiente: un pH modernamente ácido (5.58 a 6.57) y conductividad eléctrica (CE) característica de un suelo fuertemente salino (12.24 a 15.98 ds m⁻¹). El ambiente Zlfa, presentó alto contenido de materia orgánica (5.7 %) al igual que los ambientes Zi y Zmb (8.6 y 15.5 %). Además un alto y muy alto contenido de nitrógeno total en los tres ambientes (Nt) (0.2 a 0.4 %). El contenido de fósforo (P Olsen) fueron altos en los tres ambientes (12.1 a 23.9 Mg kg⁻¹). Las bases intercambiables de K, Ca, Mg y Na fueron altas en los tres ambientes y una alta capacidad de

intercambio catiónico (CIC) en los ambientes Zlfa y Zi (34.4 a 37.4 cmol (+) kg⁻¹ de suelo) y muy alta el ambiente Zmb (42.9 cmol (+) kg⁻¹ de suelo). El micronutriente hierro (Fe) en Zlfa, Zi y Zmb fue de 86.9, 204.2 y 225.4, respectivamente. El elemento cobre (Cu) se presentó de 7.1, 7.7 y 4.0 El elemento Zn fue de 4.3, 7.0 y 7.1 asimismo, el elemento manganeso (Mn) presentó de 34.1, 51.9 y 192.5. Ambas profundidades del suelo tuvieron una textura arcillosa (Cuadro 2).

El análisis del suelo a la profundidad de 30 a 60 cm en los tres ambientes presentó un pH moderadamente ácido (5.56 a 6.75) y una conductividad eléctrica (CE) fuertemente salino en los ambientes Zlfa y Zi (10.8 y 10.1 dS m⁻¹) y fuertemente salino para Zmb (21.26 dS m⁻¹). Además, mostró un contenido medio de materia orgánica en Zlfa y Zi (2.8 y 2.7 %) y alto para la Zmb (14.7 %). El contenido de nitrógeno total (Nt) en Zlfa y Zi fue medio de 0.10 y 0.12 % y muy alto en la Zmb (0.46 %). En los ambientes Zlfa y Zi presentó un contenido medio de fósforo (P Olsen) (4.6 a 6.6 Mg kg⁻¹) y alto contenido para Zmb (13.3 Mg kg⁻¹). Las bases intercambiables de K, Ca, Mg y Na presentaron una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los ambientes Zlfa y Zi (30.4 a 28.9 cmol (+) kg⁻¹ de suelo) y muy alta en Zmb (42.9 cmol (+) kg⁻¹ de suelo). El micronutriente hierro (Fe) en Zlfa, Zi y Zmb fue de 13.7, 28.9 y 336.5; cobre (Cu) de 4.6, 4.9 y 3.2; zinc (Zn) de 1.7, 2.9 y 6.5 y manganeso (Mn) 38, 34.2 y 139.

Cuadro 2. Propiedades químicas y física del suelo.

| Ambiente | pH (H ₂ O) | CE | MO | Nt | P Olsen | K | Ca | Mg | Na | CIC | Fe | Cu | Zn | Mn | Arcilla | Limo | Arena | Clasificación |
|---------------|-----------------------|-------|-------|------|---------------------|------|-----------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|--------|---------|------|-------|---------------|
| | rel. 1:2 | | % | % | mg kg ⁻¹ | | cmol kg ⁻¹ | | | | mg kg ⁻¹ | | | | % | | | Textural |
| Zlfa 0-30 cm | 6.57 | 12.24 | 5.71 | 0.23 | 12.1 | 6.79 | 12.19 | 22.48 | 63.56 | 34.44 | 86.9 | 7.106 | 4.256 | 3 | 67 | 27 | 6 | Arcilla |
| Zlfa 30-60 cm | 6.75 | 10.83 | 2.85 | 0.1 | 4.6 | 5.27 | 15.19 | 22.33 | 42.43 | 30.45 | 13.78 | 4.67 | 1.722 | 3.2 | 73 | 25 | 2 | Arcilla |
| Zi 0-30 cm | 6.24 | 13.71 | 8.69 | 0.3 | 19.83 | 4.81 | 11.91 | 27.51 | 57.3 | 37.44 | 204.2 | 7.72 | 7.688 | 4.36 | 63 | 21 | 16 | Arcilla |
| Zi 30-60 cm | 6.59 | 10.19 | 2.73 | 0.12 | 6.61 | 4.8 | 9.79 | 20.54 | 46.17 | 28.95 | 28.98 | 4.9 | 2.9 | 2.82 | 65 | 25 | 10 | Arcilla |
| Zmb 0-30 cm | 5.58 | 15.98 | 15.51 | 0.49 | 23.9 | 6.62 | 14.95 | 32.48 | 69.65 | 42.93 | 225.4 | 4.064 | 7.24 | 24.012 | 53 | 27 | 20 | Arcilla |
| Zmb 30-60 cm | 5.56 | 21.26 | 14.74 | 0.46 | 13.36 | 8.3 | 16.88 | 37.55 | 154.3 | 42.93 | 336.5 | 3.206 | 6.508 | 11.753 | 49 | 27 | 24 | Arcilla |

Siglas: CE conductividad eléctrica; MO Materia orgánica; Nt Nitrógeno total; K Potasio; Ca Calcio; Mg Magnesio; Na Sodio; CIC Capacidad de Intercambio Cationico; Fe Hierro; Cu Cobre; Zn Zinc; Mn Manganeso.

La profundidad del agua en Zmb sólo presentó inundación hasta enero de 2014. Para la Zi presentó inundación durante los 10 meses de monitoreo, y a principios de febrero a agosto se mantuvo una profundidad de 8 a 12 cm. La Zlfa a final del mes de enero a mayo tuvo una profundidad de 2 a 6 cm., y en los meses de julio a agosto no presentó inundación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Profundidad del agua (cm) en los 10 meses de monitoreo.

| Ambiente | Mes del año | | | | | | | | | |
|----------|-------------|----|---|---|---|----|---|----|---|----|
| | D* | E | F | M | A | M | J | Ju | A | S |
| Zi | 90 | 34 | 7 | 7 | 7 | 10 | 7 | 4 | 4 | 23 |
| Zmb | 53 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zlfa | 80 | 21 | 5 | 7 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 9 |

Sigla: D*, Diciembre 2013; E, Enero; M, Marzo; A, Abril; M, Mayo; J, Junio; Ju, Julio; A, Agosto; S, Septiembre.

7.4 DISCUSIÓN

La Zmb, presentó mayor porcentaje de sobrevivencia de plantas deforestadas, además, fue el único ambiente que presentó poblaciones de regeneración natural. Dado los resultados de la sobrevivencia de la especie de *A. germinans* en el ambiente Zmb se puede afirmar como describe Kohen *et al.* (1995) que este ambiente proporciona las condiciones o requerimientos necesarios para la sobrevivencia y el crecimiento de esta especie en etapa de desarrollo. Las pruebas de deforestación que realizó Febles *et al.* (2009) de la misma especie, sustenta aun mas los resultados descritos de esta investigación, porque obtuvo mayor sobrevivencia (45.7 %) en áreas menos inundadas y con mayor desarrollo con mas alta salinidad (45,5 ups \pm 0,50 ups).

La especie *A. germinans* no tolera largos periodos de inundación, presentado así, mayor porcentaje de individuos muertos en pie, en la Zi y Zlfa, aunque, la especie presenta neumatóforos para adaptarse a estas condiciones del ambiente, no fueron los suficientes para sobrevivir, debido que los neumatóforos fueron escasos y con alturas pequeñas. Es decir que las plantas sumergidas por prolongado periodo de tiempo tienen la probabilidad de morir por la falta de oxígeno, esto se puede observar en campo como individuos muerto en pie (mp).

Respecto a la población de la regeneración natural Hoyos *et al.* (2012) reporta que la especie *A. germinans* domina sobre las barras arenosas, suelos bien drenadas, cercanos a tierra firme y con los mayores valores promedios de sedimentación (5.10 cm/año).

La similitud estadística entre ambientes se debió a que la alta salinidad del suelo restringe el crecimiento de esta especie. El crecimiento de la especie *A. germinans* y *L. racemosa* está afectada por la cantidad de sal (Benfield *et al.*, 2005 y López-Hoffman *et al.*, 2006). En general la acumulación excesiva de sales en suelos afecta el crecimiento de las plantas ya que agravan el stress hídrico al afectar la absorción de agua. De igual manera las sales trastornan el balance de iones de la solución del suelo ya que los nutrientes están proporcionalmente menos disponibles IUSS *et al.* (2007). Se sabe que existen efectos antagónicos, entre Na y K, entre Na y Ca, y entre Mg y K. En mayores concentraciones las sales pueden directamente ser tóxicas para las plantas. Respecto, a los iones Na y cloruro estos son muy dañinos porque perturban el metabolismo de N.

La población de regeneración natural de mangle negro es poco tolerante a la sombra de otros árboles y por tanto requiere de espacios abiertos para desarrollarse y zonas menos inundables (Febles *et al.* 2009; Domínguez *et al.*, 2011), Esto explica porque no se registraron plantas de regeneración natural en Zi y Zlfa, aunque también podría considerarse que no hubo frutos en el año 2010 y 2011 por la afectación del mangle negro por la oruga *Anacamptodes* sp.

Fue evidentemente la Zmb, presentó mayor porcentaje de radiación solar, el cual permitió desarrollar los diversos procesos fisiológicos de la planta y por consecuencia presenta mayor crecimiento y mayor porcentaje de sobrevivencia como los describe Valladares *et al.*, (2004) y Alcaraz (2012) que mayor porcentaje lumínico en un sitio es un nicho de regeneración de las plantas y de mayor crecimiento. Muestra de ello, que la regeneración natural en la Zi y Zlfa, no hubo registro. Aunque en la Zi presentó mayor porcentaje de radiación solar, no favoreció la sobrevivencia de las plantas reforestadas debido a largos periodos de inundación.

Asimismo, la disponibilidad de luz no es el único factor que interviene en el crecimiento de los manglares. Se ha identificado que una salinidad alta del agua intersticial puede restringir el crecimiento de las plántulas de *A. germinans* y *L. racemosa*, independientemente de que cuenten con alta disponibilidad de luz (Benfield *et al.*, 2005; López-Hoffman *et al.*, 2006).

De acuerdo con los resultados de la conductividad eléctrica (CE) y sodio (Na) en los tres ambientes son suelos salinos a muy salinos que se clasifica como suelo Solonchak de acuerdo a (IUSS *et al.*, 2007) misma, que reporta Bojórquez *et al.*, (2008) como suelo Solonchak con resultados de (CE, 12.6 a 42.2 ds.m⁻¹) con (Na, 8.5 a 51.8 cmol (+) kg⁻¹). El tipo de suelo mencionado, presentan efectos antagónicos entre Na y K, entre Na y Ca, y entre Mg y K (IUSS *et al.*, 2007), aunque esta investigación se reporta en altas concentraciones de los elementos mencionados están menos disponibles por el exceso de sal.

La superficie total del ecosistema manglar en Tabasco abarca aproximadamente 56.4 % de suelos salinos (Domínguez *et al.*, 2011). Estos suelos salinos se localizan en una gran variedad de relieves, principalmente en llanuras fluvio-marinas, porque presentan intrusión de agua salina por efecto de la marea o por el manto freático (Zavala *et al.* 1999, Palma-López *et al.* 2007). En un estudio de López *et al.* (2011) en cinco bosques de manglar en la región centro occidental del territorio venezolano; cuatro ubicados en la península de Paraguaná y uno en el continente, en la desembocadura del río Ricoa; Reportó la dominancia de la textura arcillosa en suelos del manglar arbóreo estuarino y del achaparrado de laguna hipersalina. En el resto de los manglares prevaleció la textura franco arcilloso arenoso.

La profundidad del agua en el ecosistemas manglar, es producto de las pequeñas escalas de pendientes, que pueden marcar diferencias, principalmente para la sobrevivencia de la especie *A. germinans*. Asimismo, la marea es un elemento natural que distribuye las semillas de las especies de mangle, además, condiciona el ecosistema para mantener su estructura y función (Carrillo *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). Las especies de mangle presentan adaptaciones fisiológicas contra las mareas, por ejemplo, la especie *R. mangle* crece en zonas inundadas en las orillas de lagunas donde el flujo del agua es constante (Ortiz y Méndez, 2000), y para el caso de la especie *A. germinans*, crece en el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente y con mayor tolerancia a condiciones de alta salinidad de 40 por mil, hasta 100 por mil, gracias a las glándulas secretoras de sal en sus hojas (Cordero y Boshier 2003).

7.5 CONCLUSIONES

La información generada de la especie *A. germinans* en esta investigación, fortalece la toma de decisión en futuras actividades de reforestación del ecosistema manglar. Debido a que el ecosistema es complejo, es necesario considerar los elementos naturales que más influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas de mangle negro en los primeros estadios y tomarlos en cuenta para el éxito del proyecto de reforestación.

La sobrevivencia del mangle negro en áreas reforestadas o poblaciones de regeneración natural es favorecida en áreas con cortos tiempo periodos de inundación, por lo tanto la hipótesis planteada no se acepta.

La especie en sus primeros estadios, no tolera largos periodos de inundación debido que no presentan o son escasos los neumatóforos y con alturas pequeñas.

En Zmb fue el ambiente que presentó mayor crecimiento en altura de las plantas reforestadas. Asimismo, en este ambiente presentó poblaciones de regeneración natural de la especie *A. germinans*, como también la especie *Batis marítima* como invasora.

En el crecimiento de la especie *A. germinans* intervienen los componentes radiación solar y la salinidad del suelo, por lo tanto la hipótesis planteada no se acepta.

La zona de marea baja es un ambiente favorable para la sobrevivencia y crecimiento de la especie *A. germinans*.

7.6 AGRADECIMIENTO

Al CONACYT por la beca otorgada, lo cual hizo posible esta investigación. Así como al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. A la línea 8, “Impacto y mitigación del cambio climático del Colegio de Postgraduados.

7.7 LITERATURA CITADA

- Aceves, N., L.A., J. F. Juárez L., D. J. Palma L., R. López L., B. Rivera H., J. A. Rincón R., R. Morales C., R. Hernández A., A. Martínez S. y J. L. Hernández S. 2008. Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca. TOMO 1. Estudios para determinar zonas de alta potencialidad de los cultivos en el estado de Tabasco (informe general).
- Alcaraz, A. F.J. 2012. Temperatura, luz, atmosfera, viento. Geobotánica, Tema 20. Universidad de Marcia, España. 13 p.
- Álvarez, O. D.S., J.C. Matiz L., y A. C. Cárdenas. 2011. Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación idw, kriging, Shepard y B-Spline en el archipiélago de Islas del Rosario. Revista Geomática UD. GEO No. 5: 3-14.
- Barba, E., J.F. Juárez y F.L. Estrada. 2010. Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 81: 153-163.
- Basáñez, M. A. de J., G. P. Olmedo y P.M. Rojas. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, México. Revista UDO Agrícola 6(1): 114-120.
- Benfield, S.L., Hector M. Guzman., James M. Mair. 2005. Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. Journal of Environmental Management. 76: 263-276.
- Buduba, C. 2004. Muestro de suelos. Criterios básicos. Ficha Técnica. Patagonia Forestal-Año X N° 1. 12 p.
- Carmona, D.G., J.E. M. Morales y E.L. Rodríguez. 2004. Plan de manejo para el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la conservación de sus recursos naturales. Madera y Bosques. 10(2): 5-23.
- Carrillo, E.G. 2008. Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. Edit. Universidad Autónoma de Chapingo. 172 p.
- Carrillo, B.A., E.M. R. Elizalde, N.V. Torrescano y G.O. Flores. 2008. Adaptación ante disturbios naturales, manglar de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Foresta Veracruzana 10(1):31-38.
- Cordero, J., y D. Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza - CATIE, Oxford, Reino Unido. 1079 p.

- Chan, Hung Tuck, Mark Spalding, Shigeyuki Baba, Mami Kainuma, Alastair Sarre and Steve Johnson. 2012. The Tropical Forest Update is published by the International Tropical Timber Organization. 21 (2):1-21.
- CONABIO. 2008. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 35 p.
- Domínguez, D. M., J.C. Zavala, P.Z. Martínez. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. The World's mangroves. Roma Italia. 89 p.
- Febles, P. J.L., J.L. Novelo y E.S. Batllori. 2009. Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México. *Madera y Bosques* 15(3): 65-86.
- Flores, M. M.A., A.V. Aguirre, M.H. Flores y X.G. Guardado. 2010. El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. *77*: 33-38.
- García, C.S. 2005. Dinámicas del C y N en el suelo de manglar en Ventanilla, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Biología Marina. Consultado en Julio 2014. http://www.umar.mx/tesis_PA/tesis_digitales/SANCHES-GARCIA-BIO-MAR.pdf
- Hernández-Melchor, G.I. 2013. Legislación, cambio de uso de suelo y reforestación en manglares de Cardenas, Tabasco. Colegio de Posgraduados-Campus Veracruz. Tesis Doctoral. 108 p.
- Herrera, H. J.G. y C.A. García. 2010. Bioestadística en Ciencias Veterinarias. Procedimientos de análisis de datos con SAS. Ed. Universidad Complutense de Madrid. 251 p.
- Hoyos, G. R., L.E. G. Urrego y Á.T. Lema. 2103. Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)*. 61(3): 1445-1461.
- IUSS, ISRIC y FAO. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización traducida al español por Mabel Susana Pazos. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 127 p.
- Ke, L., Yu K.S.H., Wong Y.S., Tam N.F.Y. 2005. Spatial and vertical distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in mangrove sediments. *Sci. Tot. Environ.* 340, 177–187.

- Kohen, E., R. Santus y J. G. Hirschberg. 1995. *Photobiology*. Academic Press, London.
- Lewis, R.R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*. 24: 403-418.
- Londoño, A.C. y E. Álvarez. 1997. Mortalidad y crecimiento en bosques de tierra firme y várzea, Amazonía colombiana. TROPENBOS. Bogotá. 30 P.
- Londoño, A.C. y E.M. Jiménez. 1999. Efecto del tiempo entre los censos sobre la estimación de las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de árboles (períodos de 1, 4 y 5 años). En: *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*. No. 14: 41-58.
- López, B.B., M.C. Beatriz y J. Eloy. 2011. Caracterización de los manglares de zonas semiáridas en el noroccidente de Venezuela. *Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. Interciencia*. 36(12): 888-893.
- López, Hoffman. L., Niels P. R. A., M. Martinez R., David D. Ackerly. 2006. Salinity and light interactively affect mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. *Oecologia*. 150(4): 545-556.
- Melo, C.O. y R.R. Vargas. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima. CRQ – CARDER – CORPOCALDAS – CORTOLIMA Ibagué. 1ra. Edición. Pp. 1-21.
- Moreno, M. G. de J., J.G B. Cerón, R.M. B. Cerón, J.J. S. Guerra, L.E. del A. Amador y E.H. Endañú. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en los suelos de manglar de Isla del Carmen. *UNICAR TECNOCENCIA*. 4(1): 24-39.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicado en el diario oficial el día 31 de diciembre 2002.
- Olguín, J.E., M.E. Hernández y G.G. Sánchez. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23(3): 139-154.
- Ortiz P. M. A., C. Siebe, y S. Cram. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap. 14: 305-322. En Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) *Biodiversidad del estado de Tabasco*, 356 p. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México, 2005. ISBN 970-9000-26-8.
- Ortiz, P. M.A. y A.P. L. Méndez. 2000. Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa Atlántica de México. *Investigaciones*

- Geográficas, Abril, numero 041. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. pp. 46-61.
- Palma, L. D.J., J.D. Cisneros, E.C. Moreno y J.A. R. Rincón. 2006. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 3^a. Ed. ISPROTABFUNDACION PRODUCE TABASCO-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. 97 p.
- Reeves, G. (2005). Understanding and monitoring hydrocarbons in water. Oakville, Ontario, Canada: Arjay Engineering LTD.
- Rodríguez, Z. M.T., C.S. Troche, A.D. Vázquez, J.D. Márquez, B.B. Vázquez, L.L. Valderrama, S.S. Velázquez, M.I. Cruz, R. Ressler, A.M. Uribe, S.E. Cerdeira, J. Acosta, J. Díaz, R. Jiménez, L. Fueyo y C. Galindo. 2013. Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 p.
- Sanjurjo, R.E. y S.C. Welsh. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Gaceta Ecológica, núm. 74, 55-68.
- SAS Institute Inc. 1995. Logistic Regression Examples Using the SAS System, Versión 6, First Edition, Cary, NC. 163 p.
- Schuyt, K. y Brander, L. 2004. *The economic values of the world's wetlands*. Gland, Switzerland: World Wide Fund for Nature (WWF).
- SEDESPA. 2006. Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco. 99 p.
- Sol S. Á., G. I.M. Hernández y F.G. Sánchez. 2012. Volumen de madera de mangle negro (*avicennia germinans* L.) muerto defoliado por la oruga de *Anacamptodes* sp en el ejido Las Coloradas, Cárdenas, Tabasco, México. MEMORIAS DEL SEGUNDO CONGRESO MEXICANO DE ECOSISTEMAS DE MANGLAR. 22-26 de octubre de 2012. Ciudad del Carmen, Campeche, México. Pp. 33-34
- Sosa P., G. y D. A.T. Rodríguez. 2003. Efecto de la calidad de la planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. Vol. IX, NÚM. 1-2003. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9 (1): 35-43.

- Spalding, M, Kainuma M, Collins L. 2010. World Atlas of Mangroves. A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH and TNC. London (UK): Earthscan, London. 319 p.
- Valladares, F., I. Aranda. Y D.G. Sánchez. 2004. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Páginas 335-369. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.
- Vilmarie, R. 2008. Recursos acuáticos: el manglar. Programa de Educación en Recursos Acuáticos (PERA). Negociado de Pesca y Vida Silvestre. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).
- Wood, A.; Dixon, A.; McCartney, M.P. 2013. Conclusions: Transforming wetland livelihoods. In: *Wetland management and sustainable livelihoods in Africa*, eds., Wood, A.; Dixon, A.; McCartney, M.P. New York, USA: Routledge. Pp. 258-270.
- Yáñez, E.L., T. Terrazas y L.M. López. 2001. Effects of flooding on wood and bark anatomy of four species in a mangrove forest community. *Trees* 15: 91-97.

VIII. CONCLUSIONES

La información generada de la especie *A. germinans* en esta investigación, fortalece la toma de decisión en futuras actividades de reforestación del ecosistema manglar. Debido a que el ecosistema es complejo, es necesario considerar los elementos naturales que más influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas de mangle negro en los primeros estadios y tomarlos en cuenta para el éxito del proyecto de reforestación.

La sobrevivencia del mangle negro en áreas reforestadas o poblaciones de regeneración natural es favorecida en áreas con cortos tiempo periodos de inundación, por lo tanto la hipótesis planteada no se acepta.

La especie en sus primeros estadios, no tolera largos periodos de inundación debido que no presentan o son escasos los neumatóforos y con alturas pequeñas.

En Zmb fue el ambiente que presentó mayor crecimiento en altura de las plantas reforestadas. Asimismo, en este ambiente presentó poblaciones de regeneración natural de la especie *A. germinans*, como también la especie *Batis marítima* como invasora.

En el crecimiento de la especie *A. germinans* intervienen los componentes radiación solar y la salinidad del suelo, por lo tanto la hipótesis planteada no se acepta.

La zona de marea baja es un ambiente favorable para la sobrevivencia y crecimiento de la especie *A. germinans*.

IX. RECOMENDACIONES

Asímismo, se recomienda que cuando se realicen actividades de reforestación con esta especie se consideren los sitios menos inundables. Para el caso de zona inundable se sugiere la rehabilitación, como abrir canales que permite el libre flujo de entrada y salida del agua lo cual implicaría gastos económicos.

X. LITERATURA CITADA

- Aceves, N., L.A., J. F. Juárez L., D. J. Palma L., R. López L., B. Rivera H., J. A. Rincón R., R. Morales C., R. Hernández A., A. Martínez S. y J. L. Hernández S. 2008. Estudios para determinar zonas de alta potencialidad de los cultivos en el estado de Tabasco (informe general). Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca. TOMO 1. Pp. 14-15.
- Agráz, H. C.M., R. Noriega T., J. López P., F.J. Flores-V. y J.J. Jiménez Z. 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- Aguilar, Y. E. 2011. Determinación del estado sanitario de las plantas, suelo e instalaciones y elección de los métodos de control. AGAC0108. 1ra. Edición.
- Alcaraz, A. F.J. 2012. Temperatura, luz, atmosfera, viento. Geobotánica, Tema 20. Universidad de Marcia, España. P. 13.
- Álvarez, O. D.S., J.C. Matiz L., y A. Cardenas C. 2011. Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación idw, kriging, Shepard y B-Spline en el archipiélago de Islas del Rosario. Revista Geomática UD. GEO No. 5: 3-14.
- Andreu, Michael G., Melissa H. Friedman, Mary M. Hudson, And Heather V. Quintina. 2010. *Avicennia germinans*, Black Mangrove. University of Florida. IFAS Extension. FOR 259.
- Baba, S., Chan, H.T. & Aksornkoe, S. 2013. Useful Products from Mangrove and other Coastal Plants. ISME Mangrove Educational Book Series No. 3. International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa, Japan, and International Tropical Timber Organization (ITTO), Yokohama, Japan.
- Barba, E., J. Juárez F. y F. Estrada L. 2010. Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 81: S153- S163.
- Barradas, G., H.H., G. Carmona D. y E. Rodríguez L. 2004. Anidación del águila negra (*Buteogallus anthracinus* Deppe 1830) en el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México. Madera y Bosques. 10 (2): 37-43.
- Barrera, J., D. Suárez, L. Marina M. s.f. Análisis de crecimiento en plantas. Pp. 25-36.
- Basáñez, M. A. de J., G. Olmedo P. y P. Rojas M. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, México. Revista UDO Agrícola 6 (1): 114-120.

- Basáñez, M. A.J., M.A. Cruz L., C. Domínguez B., C. González G., A. Serrano S. y A. Hernández A. 2008. Estructura y producción de *Conocarpus erectus* L. en el Sitio Ramsar “Manglares y Humedales de Tuxpan”, Veracruz, México. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Revista UDO Agrícola 8 (1): 78-87.
- Benfield, Sarah L., Hector M. Guzman., James M. Mair. 2005. Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. *Journal of Environmental Management*. 76: 263-276.
- BOLETIN INFORMATIVO No. 9 * INSTITUTO HUMBOLDT. 1998. Biosíntesis. Hacia la conservación de los humedales de Colombia: bases científicas y técnicas para una política nacional de humedales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. ISSN 0123-7896.
- Buduba, C. 2004. Muestro de suelos. Criterios básicos. Ficha Técnica. Patagonia Forestal-Año X N° 1. 12 p.
- Burns K.A., Garrity S.D, Jorissen D., MacPherson J., Stoelting M., Tierney J., Yelle-Simmons L. (1994). The Galeta Oil Spill. II. Unexpected persistence of oil trapped in mangrove sediments. *Estuar Coast Shelf S.* 38, 349-364.
- Calderón, C., O. Aburto, E. Ezcurra. 2009. El valor de los manglares. CONABIO. *Biodiversitas* 83:1-6.
- Carmona, D. G., J.E. Morales M. y E. Rodríguez L. 2004. Plan de manejo para el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la conservación de sus recursos naturales. *Madera y Bosques*. 10 (2):5-23.
- Carrillo, B., A., E.M. Elizalde R., N. Torrescano V. y G. Flores O. 2008. Adaptación ante disturbios naturales, manglar de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*.10 (1):31-38.
- Carrillo, E.G. 2008. Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. Edit. Universidad Autónoma de Chapingo. 172 p.
- Cordero, J., y D. Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza - CATIE, Oxford, Reino Unido. 1079 p.

- Chan, H.T. & J.E. Ong. 2008. Guidelines for the Rehabilitation of Mangroves and other Coastal Forests damaged by Tsunamis and other Natural Hazards in the Asia-Pacific Region. International Society for Mangrove Ecosystems and International Tropical Timber Organization ITTO/ISME PPD 134/07 Rev. 1 (F).
- Chan, Hung Tuck, Mark Spalding, Shigeyuki Baba, Mami Kainuma, Alastair Sarre and Steve Johnson. 2012. The Tropical Forest Update is published by the International Tropical Timber Organization. 21 (2):1-21.
- Chávez, C. J.C., G.G. Galeana L., I. Manzo V., J.A. Salinas S. 2008. Catalogo de peces de arrecifes rocosos-coralinos de punta Carrizalez, Colima, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 30 p.
- CONABIO. 2008. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 35 p.
- CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 p.
- CONABIO-CONANP. 2009. Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Fichas de especies mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, D.F. Compilado por Elizabeth Torres Bahena; Revisado por Carlos Galindo Leal. 5 p.
- CONAFOR. 2009. Estudio Regional Forestal. Unidad de Manejo Forestal Costa de Tabasco. UMAF 2703CO. ECODET, Asociación Civil. Documento Técnico. 439 P + anexos.
- De la Cruz, F. V. 2012. *Rhizophora mangle* Linnaeus, 1753 como especie sombrilla y razón biológica para la protección y restauración de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. BIOCYT©. 5 (18): 341-352.
- Domínguez, D. M., J. Zavala C., P. Martínez Z. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- Elizondo, C., E. Barba M., M. Á. Castillo S., H. Hernández A., D. Hoil V., H. López A., D. López M., H. Medina Q., J. Mendoza, J. Novelo, C. Tovilla, G. Velázquez S. 2011. Estudio para la Caracterización y Diagnóstico de Humedales en Puerto Morelos. Jardín

Botánico de ECOSUR “Dr. Alfredo Barrera Marín” CONTRATO NUM. CONANP/DRPYyCM/062-2011

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. The World's mangroves. Roma Italia. 89 p.
- Febles, P. JL., J. Novelo L. y E. Batllori S. 2009. Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México. *Madera y Bosques* 15 (3): 65-86.
- Field, C. 1996. La restauración de ecosistemas de manglar. ISME y OIMT. 278 p.
- Flores, M., M.A., A. Aguirre V., M. Flores H. y X. Guardado G. 2010. El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. 77, 33-38.
- Galmiche, T. A. y N. Solana V. 2011. El contexto de vulnerabilidad de las poblaciones costeras y valores asignados al manglar en Tabasco. Editora: Domínguez-Domínguez, M. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 140 p.
- García, C. S. 2005. Dinámicas del C y N en el suelo de manglar en Ventanilla, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Biología Marina. Consultado en Julio 2014. http://www.umar.mx/tesis_PA/tesis_digitales/SANCHES-GARCIA-BIO-MAR.pdf
- García, L. E., J. Zavala C. D.P. Palma López. Caracterización de las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de hidrocarburos. *TERRA Latinoamericana*, 24 (1): 17-26.
- Gore, 2006. An inconvenient truth. The crisis of global warming.
- Guevara, A., J. Becerril, y E. Casatañeda, 2005. Matriz de Contabilidad Social Aplicada al Ejido Mexcaltitán, Nayarit 2004. Artículo preparado para el *Segundo Congreso Anual de la Asociación Latinoamericana de Economistas Ambientales (ALEAR)*. Oaxaca, México.
- Hernández, M. G.I. 2013. Legislación, cambio de uso de suelo y reforestación en manglares de Cardenas, Tabasco. Colegio de Posgraduados-Campus Veracruz. Tesis Doctoral. p.108.
- Herrera, H. J.G. y C. García A. 2010. Bioestadística en Ciencias Veterinarias. Procedimientos de análisis de datos con SAS. Ed. Universidad Complutense de Madrid. 251 p.
- Hoyos, G. R., L.E. Urrego G. & Á. Lema T. 2103. Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)*. 61 (3): 1445-1461.

- INEGI. 2005 *Anuario estadístico de Tabasco* INEGI y Gobierno del estado de Tabasco. Aguascalientes, Aguascalientes.
- IUSS, ISRIC y FAO. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización traducida al español por Mabel Susana Pazos. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 127 p.
- IWMI. (International Water Management Institute) 2014. *Wetlands and people*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). doi: 10.5337/2014.202. 32p.
- Jiménez, J. A. 1999. Ambiente, distribución y características estructurales en los Manglares del Pacífico de Centro América: Contrastes climáticos, p. 51-70. *In*: A. Yáñez–Arancibia y A. L. Lara–Domínguez (eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.
- Jiménez, J. A. y A. Lugo E. [s.f.]. *Avicennia germinans* (L.) L. SO-ITF-SM-4. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.
- Ke, L., Yu K.S.H., Wong Y.S., Tam N.F.Y. 2005. Spatial and vertical distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in mangrove sediments. *Sci. Tot. Environ.* 340, 177–187.
- Kohen, E., R. Santus y J. G. Hirschberg. 1995. *Photobiology*. Academic Press, London.
- Lewis, R. R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*. 24: 403-418.
- Linares, M. R.M., C. Tovilla H. y J.C. de la Presa P. 2004. Educación ambiental: una alternativa para la conservación del manglar. Instituto de Ecología, A.C. México. *Madera y Bosques*. 10 (2): 105-114.
- Londoño, A. C. y Álvarez, E. 1997. Mortalidad y crecimiento en bosques de tierra firme y várzea, Amazonía colombiana. *TROPENBOS*. Bogotá. 30 P.
- Londoño, A. C. y Jiménez, E. M. 1999. Efecto del tiempo entre los censos sobre la estimación de las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de árboles (períodos de 1, 4 y 5 años). *En*: *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*. No 14. 41-58.

- López, B. B., M. Beatriz C. y J. Eloy. 2011. Caracterización de los manglares de zonas semiáridas en el noroccidente de Venezuela. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. Interciencia. 36 (12): 888-893.
- López, Hoffman. L., Niels P. R. A., M. Martinez R., David D. Ackerly. 2006. Salinity and light interactively affect mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. *Oecologia*. 150 (4): 545-556.
- López, P. J., E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: Una revisión. *Madera y Bosques* Número especial. 27-51.
- Marie, L. S. 2002. El sistema radical del mangle blanco (*Avicennia germinans*), un ejemplo de adaptaciones morfológicas y anatómicas en espermatofitos a condiciones ecológicas adversas. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 26 (98): 111-126.
- Melo, C. O. y R. Vargas R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima. CRQ – CARDER – CORPOCALDAS – CORTOLIMA Ibagué. 1ra. Edición. Pp. 1-21.
- Moreno, C. E., A. Guerrero P., M. del C. Gutiérrez C., C. A. Ortiz S., D. J. Palma L. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques*, 8(1): 115-128.
- Moreno, C. P.; Rojas, J.L.G.; Zárate, D.L.; Ortiz, M.A.P.; Lara, A.L.L. y Saavedra, T.V. 2002. Diagnostico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, Número Especial: 61-68.
- Moreno, M. G. de J., J.G. Cerón B., R.M. Cerón B., J.J. Guerra S., L.E. Amador del A. y E. Endañú H. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en los suelos de manglar de Isla del Carmen. *UNICAR TECNOCENCIA*. 4(1) 24-39.
- Nettel, A., Richard S. Dodd, Z. Afzal R. and C. Tovilla H. 2008. Genetic diversity enhanced by ancient introgression and secondary contact in East Pacific black mangroves. *Molecular Ecology* 17, 2680–2690.
- Olguín, J. E., M. E. Hernández y G. Sánchez G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23 (3): 139-154.
- Ong, J. E. & W.K. Gong (2013) *Structure, Function and Management of Mangrove Ecosystems*. ISME Mangrove Educational Book Series No. 2. International Society for

- Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa, Japan, and International Tropical Timber Organization (ITTO), Yokohama, Japan. 71 p.
- Orihuela, B. D.E., C. Tovilla H., H. Franciscus M. V., T. Álvarez L. 2004. Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. *Madera y Bosques* Número especial 2: 45-61.
- Ortiz P. M. A., C. Siebe, y S. Cram. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap. 14: 305-322. En Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) *Biodiversidad del estado de Tabasco*, 356 p. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México, 2005. ISBN 970-9000-26-8.
- Ortiz, P. M.A. y A. P. Méndez L. 2000. Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa Atlántica de México. *Investigaciones Geográficas*, Abril, numero 041. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. pp. 46-61.
- Palma, L. D.J. 2002. Manejo de histosoles del estado de Tabasco. P 99. *In: Palma-López D.J. y A. Triano S. (Comps.) 2002. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco, Vol. II. Ed. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPROTAB. Villahermosa Tabasco, México. 160 Pág.*
- Palma, L. D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramirez. 2006. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 3ª. Ed. ISPROTABFUNDACION PRODUCE TABASCO-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. Pp. 97.
- Pennington, D.T. & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Tercera Edición. 523 pp.*
- Reeves G. (2005). *Understanding and monitoring hydrocarbons in water. Oakville, Ontario, Canada: Arjay Engineering LTD.*
- Reyes de la Cruz, A., G. López Ocaña & H. Hernández Trejo. 2002. Evaluación preliminar de los efectos de la Inundación y la herbivoría sobre plántulas de mangle. *Universidad y Ciencia* 18: 136-139.
- Reyes, C. M.A. y C. Tovilla H. 2002. Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la Costa de Chiapas. *Madera y Bosques*, Número especial 1: 103-114.

- Rodríguez Z., M.T., P. Ramírez G. Y G. Gutiérrez G. 2011. Efectos de la extracción no controlada de madera sobre la comunidad y estructura de tamaños de los manglares de Alvarado, Veracruz, México. *Ecología. Bol. Soc. Bot. Méx.* 89: 107-113.
- Rodríguez, Z. M.T., C. Troche S., A.D. Vázquez L., J.D. Márquez M., B. Vázquez B., L. Valderrama L., S. Velázquez S., M.I. Cruz L., R. Ressler, A. Uribe M., S. Cerdeira E., J. Acosta V., J. Díaz G., R. Jiménez R., L. Fueyo M. y C. Galindo L. 2013. Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.
- Sanjurjo, R., E. 2001. Valoración Económica de Servicios Ambientales Prestados por Ecosistemas: Humedales en México. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental. 40 p.
- Sanjurjo, R., E. y S. Welsh C. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. *Gaceta Ecológica*, núm. 74, 55-68.
- SAS Institute Inc. 1995. Logistic Regression Examples Using the SAS System, Versión 6, First Edition, Cary, NC. 163 p.
- Schuyt, K.; Brander, L. 2004. *The economic values of the world's wetlands*. Gland, Switzerland: World Wide Fund for Nature (WWF).
- SEDESPA. 2006. Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco P. 99.
- SEMARNAT. 2000. NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicado en el diario oficial el día 31 de diciembre 2002.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre –Categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial, miércoles 6 de marzo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y

- especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. DOF: 30/12/2010. Fecha de consulta: 30 abril 2014.
- SEMARNAT. 2012. Estrategia nacional para la atención del ecosistema de manglar. Comisión intersecretarial para el manejo sustentable de Mareas y Costas (CIMARES). 1ra. Ed. 44 P.
- Sol, S. Á., G. I. Hernández M. y F. Sánchez G. 2012. Evaluación de daños y restauración del ecosistema de mangle negro (*Avicennia germinans L.*) en el ejido Las Coloradas, Cárdenas, Tabasco, México. Pp. 153-154. En: Amador-del Ángel, L.E., Zaldívar-Jiménez, A., Guevara-Carrió, E.C., Endañú-Huerta, E., Pérez-Ceballos, R. y Brito-Pérez R. (Editores). Memorias del Segundo Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar. 22-26 de octubre de 2012. ISBN *En Trámite*. Universidad Autónoma del Carmen, Centro de Investigación de Ciencias Ambientales. Ciudad del Carmen, Campeche, México. 220 p.
- Sosa P., G. y D. A. Rodríguez T. 2003. Efecto de la calidad de la planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. Vol. IX, NÚM. 1-2003. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1): 35-43.
- Spalding, M, Kainuma M, Collins L. 2010. World Atlas of Mangroves. A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH and TNC. London (UK): Earthscan, London. 319 p.
- Tomlinson, P.B. 1999. The Botany of Mangroves. Cambridge University, Cambridge, United Kingdom.
- Tovilla, H. C. 1998. Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoanapa, Guerrero, México. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias. UNAM. México. 395 p.
- Urueta, S. Juan., Garay, S. Cindy., Zamora, G. Alejandro, Galvan-Guevara, Silvia, de la Ossa, V. Jaime. 2010. Ciénaga de la Caimanera: Manglares y aves asociadas. Nota corta. Rev. Colombiana cienc. Anim. 2(2) 365-372.
- Valladares, F., I. Aranda. Y D. Sánchez G. 2004. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Páginas 335-369. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.

- Vega, J., Á. y N. Villarreal. 2003. Peces asociados a arrecifes y manglares en el Parque Nacional Coiba Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Escuela de Biología. *Tecnociencia*, 5 (1): 65-76.
- Vilmarie, R. 2008. Recursos acuáticos: el manglar. Programa de Educación en Recursos Acuáticos (PERA). Negociado de Pesca y Vida Silvestre. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).
- Wood, A.; Dixon, A.; McCartney, M.P. 2013. Conclusions: Transforming wetland livelihoods. In: *Wetland management and sustainable livelihoods in Africa*, eds., Wood, A.; Dixon, A.; McCartney, M.P. New York, USA: Routledge. Pp. 258-270.
- Yáñez, E. L., T. Terrazas y L. López M. 2001. Effects of flooding on wood and bark anatomy of four species in a mangrove forest community. *Trees* 15:91-97.
- Zavala, C. J., E. García L. (Eds). 2012. Suelos y vegetación de la Cuenca Baja del Rio Tonalá, Tabasco. Especial del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 142 p.
- Zavala, C. J., O. Castillo A., A. I. Ortiz C., D.J. Palma L., J. F. Juárez, L., S. Salgado G., J. A. Rincón R., E. Moreno C. y R. Ramos R. 2009. Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco. Con base en suelo, uso actual y vegetación. Colegio de Postgraduados, Secretaria de Asentamientos y Obras Públicas, Secretaria de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. Pag. 45.

XI. ANEXO



Anexo 1. Foto de Inters larvarios de la Oruga de *Anacamptode* sp (Sol *et al.*, 2012).



Anexo 2. Foto 6 meses después de la presencia de la plaga (Sol *et al.*, 2012).

Anexo 3. Cuadro de coordenadas de los sitios de monitoreo permanente

| Ambiente | Coordenadas en UTM | |
|----------|--------------------|-------------|
| | X | Y |
| Zi | 441143.7154 | 2026974.407 |
| | 441110.4668 | 2026786.085 |
| | 441217.6867 | 2026648.602 |
| Za | 440880.3685 | 2027034.215 |
| | 440806.4241 | 2026856.472 |
| | 440785.041 | 2026702.92 |
| Zlfa | 441406.9865 | 2026961.732 |
| | 441371.8626 | 2026788.301 |
| | 440891.2191 | 2026679.622 |



Anexo 4. Foto de la Zona de marea baja estacional (Zmb)



Anexo 5. Foto de la Zona de libre fludez del agua (Zlfa)



Anexo 6. Foto de la Zona inundada (Zi)