



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Biología

ESTRUCTURA, GEOMORFOLOGÍA Y ANÁLISIS DE
CRECIMIENTO DEL MANGLAR DE CUENCA DE LA
LAGUNA LA CERCA, TLACOTALPAN, VER. CON MIRAS A
LA RESTAURACIÓN DE SU ENTORNO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL (RESTAURACIÓN ECOLÓGICA))

P R E S E N T A:

BIÓL. LOURDES CRUZ TERÁN

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Francisco Javier Álvarez Sánchez

MÉXICO D.F.

ABRIL 2008

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, al Posgrado en Ciencias Biológicas, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por la beca otorgada, así como a la Fundación Packard por financiar el proyecto de restauración.

Al Instituto de Geografía de la UNAM por el uso de las instalaciones del Laboratorio de Análisis Físico y Químicos del ambiente (LAFQA), y especialmente a la M. en C. María Estela Carmona Jiménez por su asesoramiento para la realización de los análisis fisicoquímicos del suelo.

Al Dr. Alejandro Novelo Retana[†] por haberme brindado sus conocimientos acerca de las plantas acuáticas y por su gran calidad humana.

A la M. en C. Julia Carabias Lillo por su gran sencillez y gusto para brindar su conocimiento.

Al Dr. Javier Álvarez Sánchez por la confianza y dedicación para la realización de mi tesis.

Al Dr. José Ramón Hernández Santana por enriquecer cuestiones de mi trabajo y de mi persona.

A los Doctores Antonio Lot Helgueras, Patricia Moreno-Casasola y Jorge A. López Portillo por sus importantes contribuciones en la revisión de mi tesis.

Al Dr. Claudio Delgadillo y al Dr. Fernando Cervantes por el apoyo brindado para finalizar mi tesis.

Al Consejo de Desarrollo del Papaloapan muy especialmente al Lic. Juan Manuel Irigoyen por el apoyo brindado en la donación de plantas de mangle y herramientas.

A la Dra. Guadalupe Barajas por el apoyo en el análisis estadístico de los datos.

A todos los enlodados y empinolillados, Juro, Iván, Marusia, Socorro, Diego, Erick (el perdido) Mario, David, Paulina, Juan, Rigo.

A DINA[†], por su apoyo y emotividad para mi trabajo, este trabajo es parte de una linda relación.

A Juan Corro por el trabajo realizado en campo, a Maria Luisa y Benito, por su comida tan rica y por su hospitalidad en casa.

A mis compañeros de la maestría: Audra, Juan, Eréndira, Juanita, Pacho, Rosa, Juan Carlos, Libertad, Gume, Andrea, Félix y Sara.

A mis amigos del laboratorio A-217 del Instituto de Biología, por los momentos cotidianos tan agradables Lulú, Miguel, Rigoberto, Ivonne y Arturo.

A mis compañeros del laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias: Liz, Juan Carlos, Dulce, Ernesto y Diego.

A las personas de la región por sus lecciones de historia de vida de los manglares de antaño. Gracias por su maravillosa descripción.

A Julio Cesar Montero por su apoyo en los trabajos de diseño gráfico.

A mis padres, a fin de cuentas por todo lo que me han brindado.

A mis hermanos Dinah, Miroslava, Erick, Diego y Mario y mis sobrinos Ligia, Isaac, Oliver, Alán y Carlos por los lindos momentos que aún son mejores con Luis Miguel, Maritza e Ivonne.

A Flor, que te puedo decir, por muchas cosas amiga.

A los manglares, por ese regalo visual de sus paisajes tan espectaculares.

Al tan querido Iván, mi esposo, por quererme tanto como yo a ti, por estar siempre y alegrarte de mis alegrías y de reírte conmigo. Por la linda historia fotográfica de mi trabajo de tesis, ¡gracias por el apoyo!

El manglar es: “Salvación”

(1)

En el trópico caliente
a orillas de una laguna,
el humedal y la luna
son del manglar el ambiente.

Su raíz zancuda siente
la influencia de sal de mar,
también puede respirar,
le sirve como sostén,
es de sólidos reten
y logra el agua aclarar.

(2)

Se orienta el sol con la luna
y ocasiona pleamar,
con agua logra inundar
al humedal que es la cuna.
El manglar en la laguna
es depósito de vida,
tantas especies anida,
que con generosidad
da gran productividad
y abastece de comida.

(3)

Las horquetas del manglar
son de las aves guarida,
tienen la paz requerida
para alojar al nidal.
Es su función principal:
“fotoautotroficación”
nos ofrece solución
al efecto invernadero
que amenaza al mundo entero,
el manglar: ¡es salvación!

Diego Cruz Lara (El almendro
florido) Tlacotalpan, Ver.
Marzo 2008.

ÍNDICE

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN.....	1
Ecosistemas de manglar.....	1
Distribución.....	1
Importancia.....	3
Cambio de uso de suelo	4
Deforestación y deterioro	4
ANTECEDENTES.....	6
Restauración.....	6
La importancia de la restauración de manglares.....	7
Métodos utilizados en la restauración de manglares.....	7
Geomorfología y los manglares.....	8
Regeneración de manglares.....	9
Reforestación de manglares.....	10
Condición actual de la zona de estudio.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	14
Objetivo general.....	14
Objetivo particular.....	14
HIPÓTESIS.....	14
MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
Zona de estudio.....	15
Localización del área de estudio.....	15
Constitución geológica y condiciones geomorfológicas generales de la región.....	15
Clima.....	16
Hidrología.....	16
Suelos.....	17
Vegetación y uso de suelo.....	18
Geomorfología.....	18

Método de campo.....	18
Perfil edafológico.....	19
Métodos de análisis fisicoquímicos de suelo.....	20
<i>pH</i>	20
<i>Conductividad eléctrica</i>	20
<i>Salinidad</i>	21
<i>Textura</i>	21
<i>Materia orgánica</i>	22
<i>Color</i>	23
Parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio ZRN y ZR.....	24
Ubicación de los sitios de estudio en campo.....	24
Estructura.....	25
Variables estructurales.....	25
Regeneración natural: <i>Avicennia germinans</i>	26
Supervivencia.....	26
Variables de crecimiento.....	27
Reforestación: <i>Laguncularia racemosa</i>	27
Técnica utilizada para la reforestación.....	28
Plantación.....	29
Cosecha.....	29
Análisis estadístico.....	30
<i>Regeneración Natural</i>	30
<i>Reforestación</i>	30
RESULTADOS.....	32
Geomorfología.....	32
Morfogénesis del relieve.....	32
Perfil de las estructuras edáfico - sedimentológica y geomorfológica.....	32
Análisis fisicoquímicos del suelo de los pozos edáficos.....	33
Parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio ZRN y ZR.....	37
<i>Nivel de inundación</i>	37
<i>pH</i>	37
<i>Salinidad</i>	37

Estructura.....	40
Variables estructurales.....	40
Regeneración natural: <i>Avicennia germinans</i>	41
Supervivencia.....	41
Variables de crecimiento.....	41
<i>Altura promedio</i>	41
<i>Tasa relativa de crecimiento en altura promedio (TRCa)</i>	42
<i>Número de hojas promedio</i>	42
<i>Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio</i> <i>(TRlh)</i>	42
<i>Peso seco, tallo, hojas, raíz y total</i>	44
<i>Cociente de raíz / vástago</i>	45
Reforestación: <i>Laguncularia racemosa</i>	46
Supervivencia	46
Variables de crecimiento.....	46
<i>Altura promedio</i>	46
<i>Tasa relativa de crecimiento en altura promedio (TRCa)</i>	47
<i>Número de hojas promedio</i>	47
<i>Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio</i> <i>(TRlh)</i>	47
<i>Peso seco hojas, tallo, raíz, raíz/vástago y total</i>	52
DISCUSIÓN.....	58
Parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio ZRN y ZR.....	58
<i>Nivel de inundación, pH y salinidad</i>	58
Geomorfología.....	59
Morfogénesis del relieve.....	59
Perfil de las estructuras edáfico-sedimentológica y geomorfológica.....	59
Regeneración natural: <i>Avicennia germinans</i>	62
Supervivencia	62
Variables de crecimiento.....	65
<i>Altura y número de hojas promedio</i>	65
<i>Tasa relativa de crecimiento en altura promedio (TRCa) y Tasa</i>	65

<i>relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh).....</i>	65
Reforestación: <i>Laguncularia racemosa</i>	67
Supervivencia.....	67
Variables de crecimiento.....	68
<i>Tasas relativas de crecimiento en altura promedio (TRCa) y Tasa</i> <i>relativa de incremento en número de hojas promedio</i> <i>(TRlh).....</i>	68
<i>Peso seco.....</i>	71
CONCLUSIONES.....	73
PROPUESTA DE RESTAURACIÓN.....	74
Condición actual.....	74
Costo de las parcelas experimentales.....	76
LITERATURA CITADA.....	80
APÉNDICE 1	
ANEXO FOTOGRAFICO	

RESUMEN

El estudio fue realizado en la Laguna “La Cerca”, que se encuentra en el municipio de Tlacotalpan, Estado de Veracruz. La zona de estudio y su entorno fueron caracterizados mediante la realización de un mapa geomorfológico, encontrándose dos tipos de relieve: las planicies fluviales y las planicies lacustres, así como sus formas de relieve (lacustres, fluviales y antrópicas). Posteriormente, se generó un perfil geomorfológico mediante la elaboración y muestreo de tres pozos de suelo y el análisis físico-químico del suelo en cada uno de los distintos ambientes geomorfológicos. La relativa proximidad entre las columnas edáficas estudiadas, permitió el trazado de un perfil generalizado (A - B), de carácter edáfico - sedimentológico, donde la fracción mecánica y el contenido de materia orgánica propiciaron la interpretación de la evolución geomorfológica de la zona y el carácter de los procesos geomórficos, que determinaron la distribución, de las deposiciones jóvenes, así como basamento para la formación de suelos. En el plano horizontal se representan tres facies: la lacustre, la fluvial y la de cauce, hallándose en general seis distintas facies sedimentológicas. La primera posee dos facies sedimentarias, mientras que en la segunda se encontraron cuatro facies, dos inferiores, que coinciden con las localizadas en la facie lacustre, las cuales fueron sepultadas por las dos facies restantes superficiales, y en la tercera sólo se encontraron dos facies. En la facie fluvial, se evidencia que la columna edáfica de la Laguna “La Cerca” fue cubierta por deposiciones fluviales del Río Papaloapan, determinando la existencia de un suelo enterrado, sobreyacido por un suelo más joven, de condiciones menos húmedas.

También se observó un disturbio de la microtopografía local, donde se ha generado un relieve altamente modificado, de origen biogénico y antropogénico, remodelado por las pisadas y el peso del ganado. Esta actividad ha determinado la compactación de los suelos, generando una microtopografía caótica e irregular.

Por otra parte, se caracterizó la estructura de un manglar monoespecífico de *Avicennia germinans*, cuya regeneración natural fue evaluada a lo largo de un año; la germinación de semillas fue muy alta, pero la supervivencia fue baja, de alrededor de un 20%.

Finalmente, se realizó una reforestación con *Laguncularia racemosa*, para conocer el efecto que tiene el “pasto alemán” *Echinochloa pyramidalis* en la supervivencia y el crecimiento de las plantas. Se utilizó la metodología de Riley, considerando dos tratamientos: sin pasto (TSP) y con pasto (TCP). Se determinó la supervivencia y las variables de crecimiento siguientes: la tasa relativa de crecimiento en altura (TRCa), la tasa relativa de incremento en hojas (TRlh) y el peso seco de cada una de las estructuras de la planta (hojas, tallo, raíz, raíz-vástago y peso total). Se encontró que la presencia de *E. pyramidalis* no afecta la supervivencia de las plantas bajo ésta metodología, la cual fue de casi 90% en ambos tratamientos, pero si hubo un efecto negativo en el crecimiento de las plantas en el TCP. Las tasas de crecimiento en altura y en incremento en hojas fueron más altas en el TSP.

Se observó una diferencia estacional diferencial en ambas tasas, reflejando una mayor velocidad de crecimiento en el número de hojas en la temporada de sequía y una mayor velocidad de crecimiento en altura en la temporada de lluvias. Las diferencias de las TRCa y TRlh entre tratamientos, en las distintas temporadas, sólo fueron significativas en la temporada de sequía (marzo, abril y mayo), mostrando que en esta temporada se agudiza la competencia por la fuente de recursos, entre los pastos y las plantas de *L. racemosa* en el TCP. En cuanto al peso seco, sólo el peso seco en hojas marcó diferencias significativas, siendo mayor en el TSP, lo que explica una mayor tasa fotosintética de las plantas y un mayor crecimiento.

Se concluye que el pasto si tiene un efecto en el crecimiento de las plantas, y que la metodología de Riley, es un método exitoso para la reforestación de *Laguncularia racemosa* en sitios de poca energía de oleaje, como en manglares de cuenca que presentan daños en el microrrelieve causados por las actividades ganaderas, ya que este método permite la elevación de las plantas en sitios con hundimientos de origen biogénico evitando que éstas permanezcan por debajo del agua.

SUMMARY

This study was carried out in the “*La Cerca*” lagoon, located near Tlacotalpan, Veracruz State. The study site and surrounding area were categorized in two types of relief, fluvial and lacustrine plains as well as three landforms (fluvial, lacustrine, and anthropic) with a geomorphological map. A geomorphological profile was then created by the elaboration and sampling of three edaphic wells and chemical-physical analysis of the soil in each of the different geomorphological environments. The relative proximity of each of the edaphic wells studied, allowed a general edaphic-sedimentological profile outline (A-B), where the mechanic fraction and the organic material content eased the interpretation of the geomorphological evolution of the area and the character of the geomorphic processes, which determine the distribution of current deposits as basement of soil formation. In the horizontal plain three facies were represented, the lacustrine, the fluvial, and the fluvial bed, situated in six different sedimentary facies. The first shows two sedimentary facies, while in the second, four were found, two inferior, which coincided with the lacustrine facie and were buried by the rest of the superficial facie. In the third, only two were found. In the fluvial facie, there is evidence that the edaphic column of the “*La Cerca*” Lagoon was covered with river deposits from the Papaloapan River (younger soil with less humid conditions).

A local micro-topographic disturbance was also observed, where there is a highly modified relief of biogenic and anthropogenic origin, mostly affected by livestock weight and footprints. This activity has created the compaction of soil, generating chaotic and irregular micro-topography.

A structure evaluation was carried out in a mono-specific *Avicennia germinans* mangrove, whose natural regeneration was evaluated throughout the year; seed germination was high, however survival was low (around 20%).

Finally, to discover the effect of “German grass” *Echinochloa pyramidalis* on plant survival and growth, reforestation with *Laguncularia racemosa* was carried out. The Riley methodology was used, considering two treatments without grass (TOG) and with grass (TWG). Survival was calculated as well as the following growth variables: relative growth rate in height (RGRh), relative leaf increment rate (RLIR), and Dry Weight for each of the plant structures (leaves, stem, root, root-shoot and total dry weight). The

presence of *E. pyramidalis* did not affect plant survival, which was almost 90% for both treatments; however there was a negative effect in plant growth in TWG. RGRh and RLIR were higher in plants with TOG.

A differential seasonal difference was observed in both rates, reflecting a greater growth speed in leaf number in the dry season and a greater velocity of height growth in the rainy season. Differences in RGRh and RLIR between treatments in the distinct seasons were only significant in the dry season (March, April, May). This indicates increased competition for resources between the grass and *L. racemosa* in TWG. Regarding biomass, only leaf biomass showed significant differences, being greater for TOG, which explains a greater photosynthetic rate and greater plant growth.

In conclusion, the grass has an effect on plant growth, and that the Riley methodology is a successful method for the reforestation of *Laguncularia racemosa* in sites with little wave energy, such as in basin mangroves that show micro-relief damages caused by livestock activities, as this method permits the elevation of plants in sites with biogenic flooding, avoiding that these species stay underwater.

INTRODUCCIÓN

Ecosistemas de manglar

El término mangle deriva de una combinación de la palabra portuguesa árbol *mangue* y la palabra inglesa utilizada para referirse a una zona de árboles (Dawes 1986).

Comúnmente el concepto de “mangles” se refiere a los árboles tropicales restringidos a comunidades que se encuentran en la zona intersticial o adyacente a ésta (Tomlinson 1986). Los manglares son ecosistemas forestales, constituidos esencialmente por árboles que viven en condiciones de inundación o saturación de agua en el suelo, capaces de crecer y reproducirse en un amplio intervalo de salinidades (Tomlinson 1986).

Distribución

Los manglares se encuentran en la región tropical del mundo y ocasionalmente en latitudes subtropicales; se presentan en dos regiones hemisféricas separadas y son más abundantes en el trópico del Viejo Mundo que en el del Nuevo Mundo (Tomlinson 1986). Su distribución se encuentra limitada por su tolerancia fisiológica y se restringe a las zonas donde la temperatura del mes más frío es superior a los 20°C y el rango estacional no excede los 10°C (Duke *et al.* 1998).

Hay dos centros importantes de diversidad de manglares, y difieren en el inventario florístico, en tamaño y composición:

a) Grupo del Este: Esencialmente del Hemisferio Oriental, incluyendo el Este de África, India, Sureste de Asia, Australia y el oeste del Pacífico. El número total de especies de verdaderos mangles es de 40.

b) Grupo del Oeste: esencialmente del Hemisferio Occidental, incluyendo el Oeste de África, en el Atlántico en Sur América, el Caribe, Florida, América Central y en el Pacífico, al norte y sur de América. El número total de especies de verdaderos mangles es de 8 (Tomlinson 1986).

De acuerdo a la influencia de la temperatura y precipitación Blasco (1984), reporta cuatro grupos de distribución de los manglares: 1) de áreas húmedas donde se encuentra el 90% de los manglares del mundo y que abarca desde el Sur de México a Colombia, el Caribe, norte de Brasil y desde el Sureste de Asia a Australia; 2) de áreas subhúmedas, donde el manglar se encuentra ocasionalmente, como en el Este de África, India, Australia, México y parte de Venezuela; 3) de áreas semiáridas, donde el manglar es escaso; generalmente se encuentra cerca de bocas de ríos importantes, tales como el Delta de Indus en Paquistán, el Guajarat en la India, las provincias del territorio occidental y norteño de Australia y de Ecuador; 4) de zonas áridas, donde el manglar es raro, excepto donde hay lluvias de invierno, por ejemplo a lo largo de las líneas de la costa etíopes y egipcias del Mar Rojo, del Golfo Persa y del Golfo de California.

En México, al igual que los demás países latinoamericanos, el manglar está representado por tres familias de plantas vasculares: Avicenniaceae (*Avicennia*), Combretaceae (*Conocarpus* y *Laguncularia*) y Rhizophoraceae (*Rhizophora*) (Lot-Helgueras y Novelo 1990).

Estos ecosistemas se distribuyen en el interior de las lagunas costeras y sistemas deltaicos de las costas del Golfo de México y del Océano Pacífico, con algunas lagunas costeras que poseen bocas efímeras que se abren durante la temporada de lluvias o por acción de los pescadores. En el Caribe, los manglares se distribuyen en depresiones formadas entre cordones litorales del Pleistoceno, más extensas cuando están frente a barreras arrecifales (López-Portillo y Ezcurra 2002).

Se encuentran en el litoral Este, desde la Laguna Madre (Tamaulipas) hasta la parte sureña de Quintana Roo, presentando un desarrollo máximo en diversidad y estructura en los estados de Tabasco y Campeche (Lot-Helgueras *et al.* 1975). En las costas del Pacífico están distribuidos irregularmente en los litorales de la Península de Baja California y en todos los estados, desde Sonora hasta Chiapas (López-Portillo y Ezcurra 2002).

Importancia

Los manglares tienen importancia tanto económica como ecológica, como recurso natural y como protección del ambiente, y ambos aspectos no pueden separarse. La madera del mangle es una fuente de leña, postes y material para techar. La formación boscosa del manglar tiene una alta productividad primaria (Saenger y Snedaker 1993), que contribuye a la cadena alimentaria marina, ya que produce detritos, y además varias especies de animales marinos de importancia comercial pasan al menos parte de su ciclo vital en ellos. Por lo que los manglares además de ser ecosistemas forestales son productores de alimentos como cangrejos, peces y camarones (Christensen 1983).

Por lo general, la sociedad considera que los recursos naturales son sólo proveedores de bienes directos y los bienes que de ellos se obtienen, se cosechan o se recogen, sin considerar su interacción con el medio natural. El desconocimiento de todos los servicios que proveen los ecosistemas, en este caso el manglar, ha creado un sesgo hacia su transformación, ligada la mayoría de las veces a la destrucción para otros usos (Pearce y Turner 1990).

Los servicios ambientales que provee el ecosistema de manglar son muchos, de los cuales podemos destacar la protección contra inundaciones, huracanes y efectos de oleaje, el control de la erosión de la línea de costa y cuencas, el soporte biofísico a otros ecosistemas costeros, la provisión de áreas de crianza, reproducción y alimentación de especies de importancia comercial, el mantenimiento de la diversidad biológica, el almacenamiento de material orgánico, nutrientes y contaminantes, exportación de material orgánico, la producción de oxígeno, regulación de gases – captura y almacenaje de carbono, la recarga de mantos freáticos, la formación de suelos y mantenimiento de fertilizantes, la regulación del clima, el ser un hábitat temporal o permanente de especies de importancia comercial para la pesca, hábitat temporal y permanente de aves migratorias y de las regiones, el mantenimiento de la calidad de agua para actividades acuícolas, los valores estéticos del paisaje y culturales, y la recreación y turismo sustentable (Babier y Knowler 1997).

Cambio de uso de suelo

La conversión de grandes zonas de humedales en las últimas décadas ha estado acompañada por una tendencia largamente difundida de subvaloración de los humedales, y el hecho de que estas áreas usualmente carecen de derechos formales o claramente definidos de la tenencia de la tierra y del derecho territorial (Young 2000).

La amenaza principal para los ecosistemas de manglar y sus recursos renovables es su conversión a otros usos. Algunas actividades directas que están destruyendo el manglar o lo están degradando, incluyen su sustitución por actividades como la cría de camarón, la agricultura, la ganadería, la explotación maderera, la extracción de sal, el desarrollo urbano, el desarrollo turístico y la infraestructura. Además, otros impactos incluyen, el desvío de las aguas de los ríos y la contaminación de las aguas causada por metales pesados, derrames de petróleo, plaguicidas y otros productos (Windevoxhel e Imbach 1999). Además los manglares son particularmente sensibles a los impactos indirectos que provocan cambios en su régimen hidrológico, como las presas, canales, desviación de ríos, construcción de carreteras, bordos para estanquería acuícola, muelles, dragados, aperturas o clausuras de las bocas de lagunas, esteros y venas de inundación, que alteran los escurrimientos terrestres, los aportes de sedimentos y el patrón de inundación por mareas (Warner *et al.* 2001)

La pérdida de estos ecosistemas representaría la disminución de bienestar a nivel local, nacional y global (Acharya, 2002).

Deforestación y deterioro

Según el Inventario Nacional Forestal del año 2000 serie II, se tiene detectada una superficie total como manglar a nivel nacional de 880,000 ha aproximadamente, con el 62% ubicado en el Atlántico y el 38% en el Pacífico (Instituto Nacional de Ecología 2005).

La tasa de pérdida anual de superficie de manglar calculadas para el intervalo de 1976 al 2000 en el Golfo de México fue de 2.8%, mientras que para el Pacífico y para todo México fue de 2.0 y 2.5%, respectivamente. Si se mantienen las pérdidas durante un

periodo de 25 años, al final de este lapso se perderían entre el 40% y el 50% de la superficie reportada para el año 2000 (Instituto Nacional de Ecología 2005).

El Inventario Nacional de Manglares, elaborado por la Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO) en el 2007, reporta que México cuenta con 650, 000 mil hectáreas de estos ecosistemas. De acuerdo con ésta estimación, la superficie de manglar en el territorio nacional es de 236 mil hectáreas, menos de lo que se pensaba que había en el 2005, cuando se pensaba que existían 880 mil hectáreas (Enciso 2007).

ANTECEDENTES

Restauración

La conservación biológica minimiza las pérdidas permanentes de los hábitats, evitando extinciones, cuestiones que no pueden ser reparables, por lo que la restauración ecológica desempeña un rol secundario, trata de reparar lo que puede ser reparado, y asegura el futuro destino de los hábitats y las poblaciones que aún persisten, independientemente de que fueran amenazados anteriormente (Young 2000).

La restauración ecológica es una actividad deliberada, que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (SER 2004)

Un ecosistema que requiere de una restauración está degradado, dañado, transformado o totalmente destruido como resultado directo o indirecto de las actividades del hombre o por causas naturales, tales como incendios, inundaciones tormentas o erupciones volcánicas, hasta el grado que el ecosistema no se puede restablecer por su cuenta al estado anterior a la alteración o a su trayectoria histórica de desarrollo (SER 2004).

La restauración representa un compromiso a largo plazo, de tal forma que la propuesta de restaurar un ecosistema requiere de una deliberación cuidadosa. Finalmente, un ecosistema se ha recuperado y restaurado cuando puede demostrarse que sus características bióticas y abióticas son las adecuadas para continuar su desarrollo sin subsidio adicional, lo que quiere decir que se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente y tendrá la capacidad autógena de recuperación dentro de los límites normales de los disturbios que producen su alteración ambiental; así mismo tendrá interacción con ecosistemas contiguos en términos de flujos bióticos y abióticos e interacciones culturales (SER 2004).

La importancia de la restauración de manglares

La restauración juega un papel importante para la reconversión de los sitios degradados o totalmente destruidos, con un fin, el recuperar un estado ecosistémico óptimo, para que finalmente éste pueda ser autónomo.

Por tanto hay varias razones para la rehabilitación de los ecosistemas de manglar, siendo unas de ellas la conservación de los sistemas naturales y del paisaje, la producción sustentable de los recursos naturales y la protección de las costas (Field 1998a).

Métodos utilizados en la restauración de manglares

Diversos factores se pueden manipular para lograr la restauración o rehabilitación de un humedal. En términos generales, el primer factor que se busca corregir, por su importancia, es el régimen hidrológico y la microtopografía del sustrato (Linding-Cisneros y Zedler 2005). Una vez que los factores relacionados con el ambiente físico han sido considerados y corregidos hasta donde resulta posible, la vegetación característica de los humedales se podrá establecer en el sitio (Linding-Cisneros y Zedler 2005).

Field (1998a) menciona dos formas para el restablecimiento de la cobertura vegetal en los manglares degradados: la natural y la artificial. En la primera, las semillas y los propágulos de mangle existentes son utilizadas como fuente de *regeneración*, donde la mezcla de las especies regeneradas es regulada por las especies que se encuentran en el sitio, mientras que la segunda involucra la siembra de semillas y la plantación de propágulos y plántulas donde no hay suficiente regeneración natural, mediante el trasplante de plántulas de viveros a una localidad específica o la colecta de semilla o propágulos maduros para plantar estos directamente dentro del sitio.

Por medio de la reforestación se pueden recuperar sitios alterados, incluso algunas funciones del ecosistema, aún cuando el suelo, las condiciones ambientales, la flora y fauna se hayan modificado (Elster 2000)

Hay distintas metodologías para establecer plantaciones de las diferentes especies arbóreas de manglar; una de ellas es la *Metodología de Encajonamiento de Riley* (MER) (Riley y Salgado 1999). Ésta fue desarrollada con el fin de establecer a las plántulas o propágulos de mangle a lo largo de los litorales de gran energía donde ocurre el reclutamiento natural, ya que los métodos convencionales de plantación son ineficaces. Los principios de la MER incluyen los procesos del aislamiento individual de la planta de semillero dentro de tubos de PVC (cajones tubulares) y de la adaptación de la planta juvenil del ambiente externo del sitio de la restauración.

El éxito de la MER resulta de la especificación para la preparación del encajonamiento, la selección del propágulo o de la planta de semillero, la colocación del cajón tubular y de las plantas de semillero, tomando en cuenta el microrrelieve y régimen hidrológico del sitio de plantación.

Geomorfología y los manglares

Se reconocen tres acercamientos básicos para explicar la persistencia y cambio en los ecosistemas de manglar: la teoría de la sucesión, el concepto de gradientes y lo que puede ser llamado ecología fisiográfica, ésta se centra en el cambio de los hábitats y de las comunidades a través del tiempo, tratando de entender el desarrollo de las formas de la tierra o la fisiografía. La distribución de las especies y la fisonomía son explicadas directamente por la asociación de las plantas con la diversidad y dinámica de las formas de la tierra y las características del sustrato creando una variación de las condiciones ambientales sobre la colonización reproducción y crecimiento de cada área de manglar (Thom 1984).

Los geomorfólogos ven el hábitat de las plantas en la región de costa, como si cada uno representara un sistema de ambientes sedimentarios, acorde a un cambio constante. Este cambio implica movimientos direccionales de las superficies vegetales, dependiendo del balance neto de las fuerzas de erosión y sedimentación. Por ello, es indispensable para cualquier estudio que quiera explicar el desarrollo de las comunidades de manglar a lo largo del tiempo, realizar una evaluación de cambios en magnitud y frecuencia de procesos geomorfológicos de la costa (Thom 1984).

La estructura de los manglares está influenciada por una combinación de factores geomorfológicos, climáticos y ecológicos que determinan los patrones de zonificación a lo largo de la orilla (Lugo 1980). La trayectoria de la dinámica de la vegetación está restringida por las características geomorfológicas y climáticas del ambiente costero y es modificada por las interacciones ecológicas dentro del bosque de mangle. Así, se pueden observar patrones generales dentro de ciertas regiones geográficas, pero a nivel global hay patrones diversos basados en las diferentes formas de terreno que existen en las líneas costeras tropicales. Además, los cambios en la composición ambiental causados por sequías hundimientos o ciclones tropicales pueden interrumpir los patrones espaciales del desarrollo de vegetación (Twilley y Medina 1997).

Regeneración de manglares

El establecimiento de las plántulas es crítico en el ciclo de vida de todas las plantas, pero particularmente es crucial para los manglares, ya que se torna más difícil por las condiciones desfavorables de la zona intersticial en donde se establecen los manglares (Tomlinson 1986 y Mckee 1995b). Éstas tienen que resistir sustratos inestables y anaeróbicos, periodos sumergidos por mareas y altas salinidades, factores abióticos como la salinidad (Ball 1988) anoxia e inundaciones (Mckee y Mendelssohn, 1987), luz (Smith 1987) y disturbios (Ellison y Farnsworth 1993), lo que demuestra una influencia en la dinámica de crecimiento de las plántulas de mangle (Mckee 1995b).

Todos los manglares son dispersados por agua y la unidad o el agente dispersor es el propágulo (fruto, semilla, plántula), el cual posee una característica ubicua que es su flotabilidad por un tiempo definido (Saenger 1982, Tomlinson 1986).

La viviparidad es una característica de varios mangles que se encuentran en la tribu Rhizophoreae de la familia Rhizophoraceae, donde el embrión que resulta de una reproducción sexual normal no presenta dormancia, ya que emerge primero de la semilla y después afuera del fruto mientras éste sigue unido a la planta madre (Juncosa 1982 en Tomlinson 1986, Mckee 1995b); el órgano propagador (el propágulo) es la plántula no la semilla. También existe la criptoviviparidad en algunos géneros de manglares como *Aegiceras*, *Avicennia*, *Nypa* y *Pelliciera*, que es otra fase de ausencia de latencia en el desarrollo del embrión y ésta se explica cuando el embrión emerge de la semilla, pero no del fruto antes de que éste se separe de la planta (Carey 1934).

Reforestación de manglares

El hecho de que exista la necesidad de una reforestación de manglares implica que hubo una pérdida, degradación o alteración en el pasado, ya sea por un evento climático o actividades humanas, las cuáles son más frecuentes. Una de las medidas correctivas que puede ser viable es la reforestación de los manglares. En el mundo, las plantaciones de manglares pueden tener una base económica, estética o práctica. Los objetivos de estas plantaciones incluyen producción de madera, protección de costas, estabilización de canales, pesquería y mejora de la vida salvaje, cumplimiento legal, enriquecimiento social y restauración ecológica (Field 1998b, Ellison 2000).

Un punto importante para la reforestación es la localización del germoplasma y la forma de propagación a utilizar, para lo cual existen gran diversidad de formas de cómo hacerlo: la siembra directa de propágulos, plantas colectadas y cuidadas por cierto tiempo en un invernadero para después hacer un trasplante directo de plántulas (>0.5m), arbustos de (> 1 m), por estacas y por cultivo de tejidos.

El objetivo mayor para la gestión de cualquier reforestación o restauración de un área debería ser imitar la regeneración a través de un proceso de facilitación. Las actividades que pueden facilitar esta regeneración pueden ser la fertilización del área para aumentar la productividad, la eliminación de la maleza y la herbivoría, la selección de los lugares donde sea requerida una regeneración asistida, la introducción de especies que aumente la diversidad y mejore el balance adecuado de especies del sotobosque (Saenger 2002).

Otra cuestión importante para que pueda haber una facilitación en la regeneración y para que las reforestaciones tiendan a ser exitosas en los humedales costeros es la hidrología, ya que si las condiciones hidrológicas son adecuadas permitirán un buen funcionamiento biológico y químico, las cuales a su vez dependen del clima, de los patrones estacionales de entrada y salida de agua hacia y desde el humedal, de las mareas y de las fluctuaciones del manto freático. (Mitsch y Gosselink 2000). Es decir, una buena parte del funcionamiento hidrológico del humedal depende del hidropériodo, siendo éste el patrón resultante de la frecuencia y la duración de inundación de cierta área, lo cual determina las condiciones de oxidación/reducción (Mitsch y Gosselink 2000). El hidropériodo está condicionado, en parte, por la microtopografía del relieve

donde se ubica el humedal. Hoy en día, otro factor a considerar es el impacto que producen las distintas actividades humanas, tanto en la microtopografía como en el hidroperíodo. Entre estas actividades se destaca la ganadería, donde se reconoce que el pastoreo del ganado impacta de manera directa mediante el pisoteo y la compactación del suelo, la herbivoría selectiva de la vegetación y la entrada de nutrientes a través de las excretas (Collins *et al* 1998; Travieso-Bello *et al* 2005).

Condición actual de la zona de estudio

El cambio de uso de suelo en el municipio de Tlacotalpan, Ver., ha reducido el área natural en donde se desarrolla el ecosistema de manglar. La población local, en particular los ganaderos y cañeros exceptuando a los pescadores, ven a éste ecosistema como un obstáculo para otras actividades productivas como la ganadería y la agricultura, desconociendo y, por ende, menospreciando la importancia ecológica y económica que tienen estos ecosistemas por las funciones mismas y servicios ambientales que proporciona.

El área de estudio es uno de estos parches de manglar, en donde se presentan *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*.

La actividad ganadera y la tala clandestina de madera de mangle han generado una rápida transformación del ecosistema de manglar en el predio en estudio; al no tener una vigilancia constante parece ser “tierra de todos o tierra de nadie” siendo propiedad privada, por lo que algunas de sus áreas se han deforestado y transformado a un suelo de uso ganadero, introduciendo pastos africanos como *Echinochloa pyramidalis*, para la creación de pastizales que les son útiles en la temporada de secas donde es escaso el forraje en las zonas altas. En el sitio de estudio, la zona donde se distribuye *Avicennia germinans* no se ha transformado, ya que aún permanece el dosel del bosque, aunque si hay presencia frecuente y pisoteo por parte del ganado; en cambio, donde se distribuye *Laguncularia racemosa* (la cual es la zona más afectada por la itinerante actividad ganadera), se ha transformado en una zona con árboles remanentes de *L. racemosa* y pastizales.

El predio se encuentra en la localidad de San Antonio, del Municipio de Tlacotalpan, Ver., consta de 25 ha, el cual colinda con predios dedicados a la ganadería y con La

Laguna “La Cerca”, en la cual se vierten aguas residuales sin ningún tratamiento previo, provenientes de asentamientos rurales y agroindustriales del Ingenio San Cristóbal.

El propietario está preocupado e interesado en mantener esta zona con su ecosistema natural, por lo que se dio a la tarea de estudiar el estado actual de su propiedad con el fin de conservarlo y restaurarlo.

JUSTIFICACIÓN

Dado el deterioro de la zona de estudio, el conocimiento de la estructura del manglar y la geomorfología proporcionarán una identificación de la distribución natural de los manglares y una visión más completa de su entorno. El seguimiento de la regeneración y la práctica de la reforestación, serán un punto de partida para entender el comportamiento del establecimiento de la vegetación arbórea, en sitios que presentan disturbios generados por el cambio de uso de suelo, lo que permitirá establecer metodologías viables y locales para la restauración del predio a largo plazo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Conocer la geomorfología, la estructura y la dinámica de regeneración del manglar de la Laguna “La Cerca,” Tlacotalpan, Veracruz, para su posterior restauración.

Objetivos particulares

- 1) Caracterizar la geomorfología del sitio, determinando el tipo de sedimento, la textura, color, salinidad y pH del suelo, la profundidad del manto freático, dinámica de inundación, el pH y la salinidad del agua.
- 2) Caracterizar la estructura del manglar.
- 3) Evaluar la regeneración natural del manglar, midiendo la supervivencia, crecimiento y la biomasa de las plántulas del bosque monoespecífico de *Avicennia germinans*.
- 4) Determinar el efecto de los pastos sobre la reforestación con plántulas de *Laguncularia racemosa*.
- 5) Analizar la supervivencia y crecimiento de las plántulas de *Laguncularia racemosa*.

HIPÓTESIS

- 1.-Las plantas de *Laguncularia racemosa* tendrán un crecimiento mayor en sitios donde no se presenten los pastos.
- 2.-La supervivencia de las plantas será mayor en los sitios donde no se presenten los pastos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en general, en la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Sur, constituida por amplias llanuras acumulativas fluviales, lacustres y palustres, así como marinas (cordones litorales y playas) y marino - eólicas (cadenas de dunas), aunque la zona de estudio ocupa el dominio fluvio -lacustre. La zona de estudio está en el margen meridional de la Laguna La Cerca a 1.5 km al oeste del poblado San Antonio, en el municipio de Tlacotalpan, Estado de Veracruz (18° 32' 55" y 18° 33' 45" N y los 95° 43' 12" y 95° 44' 50" O). La Laguna La Cerca se localiza en el eje de la zona interfluvial de los ríos Papaloapan y Acula; el primero representa la tercera corriente más caudalosa del país. Por otra parte, la Laguna La Cerca forma parte del sistema lagunar compuesto por la Laguna La Cerca - Laguna El Ciruelo - Laguna El Pájaro - Laguna El Embarcadero, orientado Sur - Norte y paralelo al curso del río Papaloapan.

Constitución geológica y condiciones geomorfológicas generales de la región

La zona de estudio se encuentra en la provincia geomorfológica Planicie Costera de Veracruz, en el dominio del complejo fluvio - lagunar, de tipo deltáico - estuarino del sistema Río Papaloapan - Laguna de Alvarado, compuesto por aluviones cuaternarios (Pleistoceno superior al Holoceno), representado por un potente paquete de sedimentos arcillo-arenosos y conglomeráticos, que desde el punto de vista hidrogeológico presentan permeabilidad de media a alta. Estos depósitos alcanzan hasta 8 000 m de profundidad en el centro de la Cuenca Tectónica de Veracruz (Consejo de recursos Mineros 1994), precisamente donde está desarrollado el muestreo de la restauración de manglares. Esta cuenca ha funcionado como un sitio de depósito notable durante todo el Cenozoico.

El relieve es de génesis fluvial acumulativa, contando con facies sedimentarias de cauce y de plano de inundación, tanto bajo (1 - 2 m) como alto (3 - 4 m), así como con sectores de desarrollo lagunar y palustre, como es el caso de la Laguna La Cerca, donde están situadas las parcelas experimentales del presente trabajo.

La altitud de las planicies fluviales es inferior a los 4 - 6 m, con una profundidad de disección inferior a los 4 m y una densidad de disección horizontal o densidad de drenaje, menor a los 0.5 km/km² (Lugo-Hubp *et al.* 1990b) y pendientes menores a 0.5° (1%) (Lugo-Hubp *et al.* 1990a), lo que evidencia su carácter plano.

Clima

El tipo climático de la región, según la clasificación de Köppen, es Aw2 (i) gw' (García 1990a), definido como un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con poca oscilación térmica anual (entre 5 - 7° C). El porcentaje de la precipitación invernal fluctúa entre 5.0 y 10.2 %.

Según la estación meteorológica 30-129, Tlacotalpan, Veracruz, la temperatura media anual es de 26.2° C, con una precipitación media anual de 1617.2 mm. En el Cuadro 1 se presenta una síntesis de las variables climáticas más importantes.

Una de las peculiaridades de la circulación general de la atmósfera en la región climática del Golfo de México es la influencia de los vientos Alisios del Noreste durante gran parte del año, así como las ondas del Este y los ciclones tropicales durante el verano y el otoño, y los ciclones extratropicales con sus frentes fríos (Nortes), durante el invierno (García 1990b). Este régimen pluviométrico establece las condiciones de humedad necesarias para un desarrollo importante de la vegetación, en general, y de los manglares, en particular.

Hidrología

La Laguna La Cerca pertenece a la Región Hidrológica RH-28 (Papaloapan), correspondiente a la cuenca homónima, que es una de las más caudalosas de México, con un escurrimiento medio anual entre 500 y 1 000 mm, con máximos entre junio y octubre (Jiménez y Maderey 1990).

Cuadro 1. Características climáticas más notables de la región.

Variable climática	Valor promedio
Insolación (Pérez-Villega 1990a).	Anual (2200 - 2 600 horas). Máxima mensual: mayo (200 horas). Mínima mensual: enero (140 - 180 horas).
Temperatura media (Vidal-Zepeda 1990b).	Anual (22 - 26° C, cálida). Enero (18 - 22° C, semicálida). Mayo (Mayor a 26° C, muy cálida).
Viento dominante anual (Pérez-Villega 1990b).	E - SE, con 5% de calmas, según la estación Valle Nacional.
Energía del viento dominante (Pérez-Villega 1990c).	Potencia: 80 - 160 watts/m ² .
Precipitación (Vidal-Zepeda 1990a).	1200 - 1500 mm, con una probabilidad de ocurrencia del 48 %.
Número de días con lluvias (Vidal-Zepeda 1990c).	60 - 80 días.
Precipitación máxima en 24 horas (Vidal-Zepeda 1990d).	200 - 400 mm.
Número de días nublados al año (Vidal-Zepeda 1990e).	50 - 100 días.
Evaporación (Hernández 1990).	1600 - 1800 mm.

Los principales recursos hídricos que se encuentran en el entorno de la laguna son los ríos Papaloapan y Acula, así como las lagunas de Los Pájaros y de Alvarado. En general, la Laguna La Cerca se alimenta, tanto de agua dulce como de agua salada, que se introduce por el Río Acula, a través de la Laguna de Alvarado.

Suelos

Los suelos predominantes en la zona de estudio, según López (1990), son los gleysoles (suelos formados por materiales no consolidados que muestran propiedades hidromórficas) y los vertisoles (suelos con más de un 30 % de arcillas en los primeros 50 cm de profundidad, presentando facetas de presión y estructuras poliédricas entre los 25 y 100 cm de profundidad).

INEGI (1984) señala que la zona se caracteriza por presentar suelos de tipo gleysol eutríco y vertisol pélico, como suelos secundarios con textura fina, mientras que cerca del Río Papaloapan, se identifican suelos de tipo feozen lúvicos, como el predominante, y vertisol pélico y gleysol eutríco como secundarios, con texturas muy finas.

Vegetación y uso de suelo

Las planicies fluviales y lacustres del entorno de la Laguna La Cerca presentan una notable diversidad de ecosistemas, tales como vegetación acuática y franjas de manglares; que contrastan con áreas ocupadas por la actividad agrícola (especialmente la caña de azúcar) y forestal (INEGI 1984).

Geomorfología

Método de campo

En las investigaciones geomorfológicas del entorno de la Laguna La Cerca fueron establecidas cinco etapas principales:

- a) Búsqueda y análisis de fuentes cartográficas y aerofotográficas, así como documentales, en lo referente a la geología, fundamentalmente sobre la estratigrafía y los depósitos jóvenes no consolidados, y sobre estudios del relieve, realizados por otros autores.
- b) Inspección preliminar de campo, para determinar la génesis del relieve, su morfología y su dinámica, así como para aportar criterios para la datación relativa de sus tipos geomorfológicos de planicies (fluviales y lacustres). Selección de los sitios de pozos edáficos, con vistas a conocer el carácter granulométrico de los sedimentos (fig. 1).
- c) Interpretación de la ortofoto e15a61 - f, a escala 1:20 000 y del mapa topográfico E15A61 Mixtequilla, a escala 1:50 000 del área de estudio, para delimitar sus unidades de relieve y sus formas.
- d) Verificación en campo de la clasificación geomorfológica establecida, ajuste de sus límites y transiciones.
- e) Elaboración de la cartografía geomorfológica del área, a escala 1:50 000, a partir del enfoque morfocronogenético (morfología, edad y génesis), atendiendo la simbología internacional en su representación final, tanto en el fondo de color cualitativo para la génesis como en el símbolo morfológico correspondiente.

Perfil edafológico

Se hizo un levantamiento geomorfológico considerando tres sitios de muestreo, donde se cavaron los pozos edáficos que van desde la llanura lacustre hasta la llanura alta de inundación.

El primer pozo se realizó en la zona de estudio dentro de la llanura lacustre donde se presenta el manglar; el segundo pozo se hizo en una zona intermedia, entre la llanura inundable y el Río Papaloapan, y por último, el tercer pozo se situó cerca de la llanura alta de inundación (fig. 1). Éstos se elaboraron para ver si existen cambios sedimentológicos y de suelos.



Figura 1. Distribución de los pozos edafológicos en el área de estudio.

La profundidad de los pozos dependió de los horizontes encontrados en cada pozo. En campo se midió el espesor de cada horizonte y se tomó una muestra del color del suelo, la procedencia de la muestra, la fecha de muestreo y el manejo del terreno.

Para caracterizar el ambiente físico, se midió la profundidad con una cinta métrica y la salinidad del manto freático con un salinómetro portátil (salinity refractometer S/Mill-E Cat. No. 2442 0-1000/00) en un pozo artesanal localizado cerca del Río Papaloapan.

Métodos de análisis fisicoquímicos de suelo

A cada uno de los 8 horizontes encontrados en los distintos pozos, se les sometió a los análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Análisis Físico y Químicos del Ambiente. (LAFQA) del Instituto de Geografía de la UNAM.

Al ingresar las muestras de suelo al laboratorio se registraron para el control interno del mismo, se realizó el secado de las muestras y se molieron con un mazo de madera; posteriormente se tamizaron usando un tamiz con aberturas de dos mm de diámetro y se almacenaron para el uso del análisis correspondiente.

Los análisis fisicoquímicos de las muestras se realizaron mediante varios métodos y fueron los siguientes:

pH

La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ión H, mediante el uso de un electrodo, cuya membrana es sensitiva al ión H.

La determinación analítica de pH fue medida en una mezcla de relación suelo: agua 1:5. Se utilizaron frascos de vidrio para colocar 10 g de suelo de cada muestra con su respectiva repetición, más 50 ml de agua bidestilada (Nanopure); éstos se colocaron en el agitador a 180 rpm durante 30min, se dejaron reposar 15 minutos las muestras y posteriormente se iniciaron las lecturas de cada muestra con el potenciómetro Beckman mod. 720.

Conductividad eléctrica

Se utilizó la técnica de extracto de saturación, que es el extracto acuoso que se obtiene, por filtración al vacío, de una pasta de suelo saturado elaborada con agua destilada.

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica, una solución acuosa que contiene iones tiene esa

habilidad y su conductancia es directamente proporcional a la cantidad de iones presentes.

La conductancia eléctrica se tomó en el extracto acuoso mediante el conductímetro marca Corning 441.

Salinidad

El término sales solubles del suelo se usa para referirnos a los constituyentes inorgánicos del mismo que son apreciablemente solubles en el agua. La lectura de la salinidad se tomó igualmente del extracto acuoso mediante un refractómetro S/Mill-E Cat. No. 2442 0.

Textura

La textura del suelo se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. En general, el problema para analizar texturas es separar los agregados y analizar sólo las partículas de las muestras. En este método se elimina la agregación debida a la materia orgánica y la floculación debida a los cationes de calcio y magnesio. El tiempo de lectura se ha escogido de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetros mayores de 0.002 (limos y arcillas). Estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América y se ha usado para construir el triángulo de texturas.

Se pesaron 40 g de cada muestra de suelo, colocándose en vasos berzelius de 600ml y se les agregó agua bidestilada. Después para eliminar la materia orgánica de los suelos se les agregó peróxido de hidrogeno al 8%, para agilizar el proceso de la eliminación de materia orgánica, se sometieron los suelos a un baño maría por 48 horas, a una temperatura constante de 60°C.

Al dejar de reaccionar los suelos ante la agregación del peróxido de hidrógeno, por la ausencia de materia orgánica, se pusieron a hervir durante 5 minutos para eliminar el peróxido de hidrógeno, con la precaución de que el suelo no se derramara y se perdiera.

Los vasos berzelius se colocaron en una mesa, para que las partículas dispersas sedimentaran y cuando esto ocurrió el agua se observó transparente. Este proceso variaba en tiempo, según cada muestra. El agua se retiró de los vasos con precaución para no derramar el sedimento.

El siguiente paso fue agregar a cada vaso 50ml de dispersante hexametáfosfato y carbonato de calcio 0.4N (40.78g de NaPO_3 en un litro de agua), colocándolos en un aparato agitador durante dos horas a 180 rpm.

Finalmente, se vertieron en probetas de 1000 ml cada una de las muestras, más un blanco, aforándolas con agua bidestilada y agitando individualmente cada muestra. Se les tomó la lectura con el hidrómetro de Bouyocos (1936); a los cuarenta segundos y cada dos horas junto con la lectura de temperatura. Con los datos obtenidos se calcularon los porcentajes de arenas, limos y arcillas de cada muestra de suelo con sus distintos horizontes de la siguiente manera.

$$\% \text{ de limos y arcillas} = \frac{\text{Lectura a los 40 segundos} - \text{Lectura del blanco a los 40 seg.}}{\text{Peso seco del suelo}}$$

$$\% \text{ de arcillas} = \frac{\text{Lectura a las dos horas} - \text{Lectura del blanco a las dos horas}}{\text{Peso seco del suelo}}$$

$$\% \text{ de arenas} = 100 - \% \text{ de limos y arcillas,}$$

$$\% \text{ de limos} = \% \text{ de limos y arcillas} - \% \text{ de arcillas,}$$

Con estos porcentajes obtenidos de las fracciones de suelo, se procede a ubicarlos dentro del Triángulo de Texturas para obtener así la clase textural.

Materia orgánica

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el Método de Walkley y Black (1947). Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo, por medio de una dilución de dicromato de potasio y el calor de la reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico

concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70% y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.28 (1/0.77).

Para esto se pesaron 0.2 g de suelo de cada muestra, por duplicado y dos blancos, en matraces Erlenmeyer de 500 ml, adicionándoles 5 ml de solución de dicromato de potasio 1N (49.049 g de $\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$ en un litro), con una micropipeta dejando las muestras reposar por 30 min. Posteriormente con una pipeta volumétrica, a cada muestra se le adicionó 100 ml de agua destilada y 5 ml de ácido fosfórico concentrado y se dejaron enfriar, para agregarles 5 gotas de indicador (bariosulfonato de difenilamina al 0.16% m/v). Finalmente se titula el exceso de dicromato de potasio con la solución de sulfato ferroso 0.5 N (278g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 90 ml de ácido sulfúrico y se afora en 2 litros de agua destilada), el color final de la titulación es verde esmeralda. Con los resultados obtenidos, se calcularon los porcentajes de materia orgánica de la manera siguiente:

$$\% \text{ de Materia Orgánica} = \frac{(\text{Vol. Blanco} - \text{Vol. Muestra}) (\text{Normalidad de } \text{FeSO}_4) (0.67)}{\text{Peso suelo}}$$

$$\text{Normalidad de } \text{Fe SO}_4 = \frac{(\text{Vol. Dicromato}) (\text{Normalidad del dicromato})}{\text{Vol. Sulfato Ferroso del blanco}}$$

Ya obtenidos los cálculos correspondientes, se les da un valor de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica.

Color

El método de la tabla de color Munsell (Munsell 1975) sirve para la determinación de color de los suelos minerales y orgánicos. La determinación se basa en el igualamiento de color observado en el suelo, tanto en seco como en húmedo respecto al color registrado en las tarjetas de color, ubicadas en cada una de las páginas de la tabla de Munsell, donde se manejan los parámetros de matiz, brillo e intensidad.

Para esto, se colocó una cantidad de suelo de cada una de las muestras en una placa de porcelana con huecos, en cada uno de éstos huecos había una muestra diferente.

El método es cualitativo y el suelo se observa en húmedo y en mojado y así se compara el color con las tablas de color (Munsell 1975) para asignarles el color correspondiente.

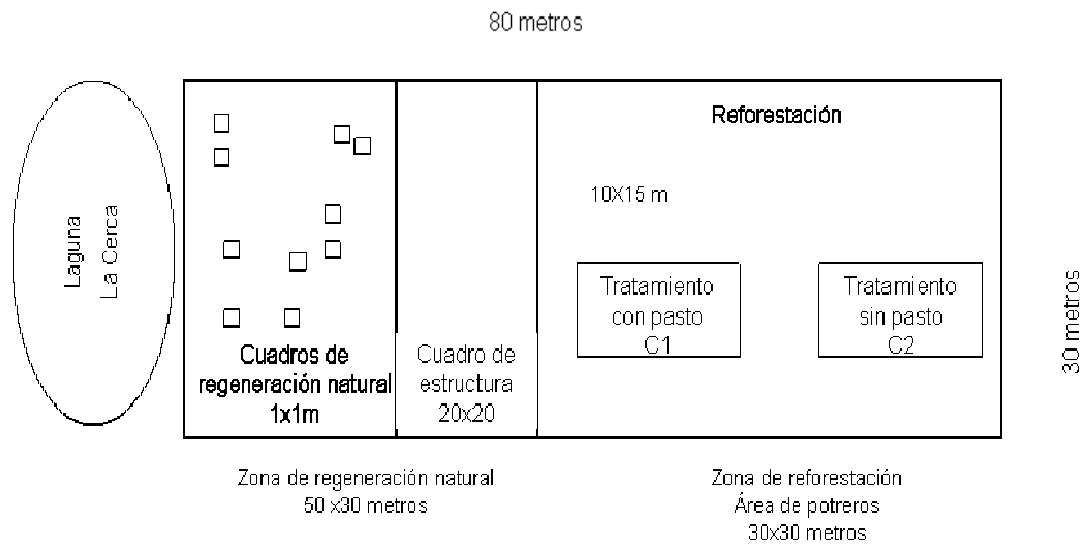
Parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio ZRN y ZR

El área de estudio se dividió en dos zonas principales, la de regeneración natural (ZRN) y la de reforestación (ZR). La primera se dividió en dos sitios, el de estructura y el de regeneración, y en la segunda se realizó la reforestación usando la Metodología de Riley (Riley y Salgado 1999) bajo dos tratamientos el sitio con pasto y sin pasto (fig. 2).

Se colocaron en cada uno de éstos sitios un punto fijo para el muestreo de suelo. Se midió el pH y salinidad en el laboratorio (LAFQA), utilizando la técnica de la pasta de saturación midiendo en el extracto acuoso. Esto se realizó de octubre a mayo del 2006 así como también se midió el nivel de inundación en cada sitio. Se calculó el promedio de los resultados, para la temporada de lluvia (octubre), temporada de nortes (noviembre, diciembre, enero, y febrero) y temporada de sequía (marzo abril y mayo).

Ubicación de los sitios de estudio en campo

El área donde se trabajó mide 80 metros de longitud X 30 metros de ancho, la cual fue cercada con alambre de púas. En esta área se instaló la zona de regeneración (ZRN) donde se distribuye *Avicennia germinans*, tiene un área de 50 metros de longitud X 30 metros de ancho; dentro de esta área se instalaron 10 cuadros permanentes para el análisis de la regeneración natural, de 1 m² cada uno y se realizó el estudio de estructura en un cuadro de 400 m². La siguiente zona fue la de reforestación (ZR), en la cual se trabajó con *Laguncularia racemosa* donde se colocaron dos cuadros experimentales, cada uno de 10 metros de longitud x 15 metros de ancho, con dos tratamientos distintos: el tratamiento sin pasto (TCP) y el tratamiento con pasto (TSP), quedando un espacio de 10 m entre los cuadros (fig. 2).



<i>Rhizophora Mangle.</i>	<i>Avicennia germinans.</i>	<i>Laguncularia racemosa.</i>
---------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Figura 2. Esquema del diseño general en campo de los estudios de estructura, regeneración natural y reforestación.

Estructura

Para delimitar el cuadro de la estructura se colocó en el margen de éste una cinta marcada en cada metro, de 20 m de longitud y 20 m de ancho. Se ubicaron cada uno de los árboles a lo largo y ancho del transecto, identificando la especie de árbol.

Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), el área de la copa con una cinta métrica y las alturas de los árboles se calcularon tomando un árbol medido con una cinta métrica como referencia. Se calcularon las variables siguientes:

VARIABLES ESTRUCTURALES

Área basal (AB)

Se calculó con la fórmula del área para un círculo: $AB = \pi r^2$

Cobertura (C)

Se calculó con la fórmula del área para un círculo: $C = \pi r^2$

Densidad (D)

Se expresó como el número de árboles por unidad de área.

Regeneración natural: *Avicennia germinans*.

El estudio de regeneración se realizó en la parte donde se establece sólo *Avicennia germinans*, en un área de 30 X 30m se colocaron 10 cuadros de 1x1 m en donde se observó germinación de semillas. A todas las plántulas encontradas en cada cuadro se les marcó con una etiqueta de aluminio, colocándoles un número (fig. 3).

Supervivencia

Se evaluó la supervivencia de las plantas, se midió la altura de cada plántula con una cinta métrica y se contó el número de hojas, cada mes durante 12 meses. En el mes de septiembre no se realizó la medición por que no había forma de entrar a la zona de estudio por causa del Huracán Stan.

Se realizó una cosecha inicial de 30 plantas en marzo del 2005 y una final de 30 plantas en marzo del 2006, donde se registró el peso seco de tallo, raíz y hojas.

Para obtener el peso seco de las plantas, éstas se colocaron en una secadora a 70 °C durante 72 horas y después se pesaron en una balanza analítica.

Finalmente, se calcularon las variables de crecimiento (Hunt 1982) siguientes:

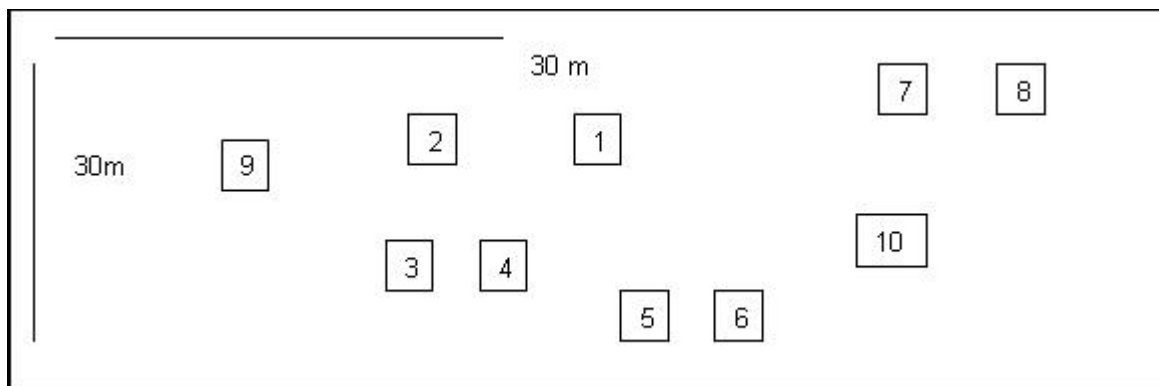


Figura. 3. Acomodo de los cuadros en el estudios de regeneración natural de *Avicennia germinans*.

Variables de crecimiento

Tasa relativa de crecimiento en altura (TRCa)

$$TRCa = \ln \text{Alt. } t_2 - \ln \text{Alt. } t_1 / t_2 - t_1$$

dónde:

Alt. t_1 corresponde a la altura inicial (m) y **Alt. t_2** corresponde a la altura final, **t_1** corresponde al tiempo inicial (días- mes) y **t_2** al tiempo final.

Tasa relativa de incremento en número de hojas (TRlh)

$$TRlh = \ln \text{ num. de hojas } t_2 - \ln \text{ num. de hojas } t_1 / t_2 - t_1$$

dónde:

num. de hojas t_1 corresponde al número de hojas inicial y **num. de hojas t_2** corresponde al número de hojas final, **t_1** corresponde al tiempo inicial (días - mes) y **t_2** al tiempo final.

Cociente raiz vástago (R/V)

$$R/V = PSr / PSv$$

dónde:

PSr es el peso seco de la raíz y **PSv** es el peso seco del vástago.

Peso seco total

$$PST = PSh + PSt + PSr$$

dónde:

PSh es el peso seco de las hojas, **PSt** es el peso seco del tallo y **PSr** es el peso seco de raíz.

Reforestación: *Laguncularia racemosa*.

En la zona de reforestación (ZR) se realizó una plantación experimental; ésta se situó en un lugar con vegetación secundaria (potrero). Se colocaron dos cuadros

experimentales de 10 m de longitud X 15 m de ancho, dejando un cuadro de separación entre los cuadros de 10 x 30 m, sembrándose un total de 100 plantas de *Laguncularia racemosa* de vivero que median 20 centímetros de altura y tenían una edad de tres meses, las cuales fueron donadas por La Comisión de Desarrollo del Papaloapan del Estado de Veracruz (CODEPAP).

Se utilizaron dos tratamientos el tratamiento sin pasto (TSP) que corresponden al cuadro 1, donde el pasto fue retirado desde la raíz, eliminándolo totalmente, y el tratamiento con pasto (TCP), que corresponden al cuadro 2, donde el pasto se dejó tal cual como se encontró (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Acomodo de los cuadros experimentales de reforestación en zona de reforestación (ZR): con los distintos tratamientos con pasto (TCP) y sin pasto (TSP).

<p style="text-align: center;">Cuadro 1 Tratamiento sin pasto (TSP) 50 Plantas <i>Laguncularia racemosa</i>.</p>	<p style="text-align: center;">Espacio de 10 m.</p>	<p style="text-align: center;">Cuadro 2 Tratamiento con pasto (TCP) 50 Plantas <i>Laguncularia racemosa</i>.</p>
--	---	--

En cada uno de los cuadros se sembraron 50 plantas de *Laguncularia racemosa* de manera intercalada, con una distancia entre planta y planta de 1.5 metros (fig. 4).

Técnica utilizada para la reforestación

Se utilizó para la siembra de las plantas la Metodología de Encajonamiento de Riley (Riley y Salgado 1999). Se seleccionó dicha metodología ya que se visualizó un microrrelieve caótico de origen biogénico dado por el constante pisoteo del ganado y el permitió elevar el nivel del suelo en la siembra de las plantas, se utilizaron tubos de PVC de 4 cm de diámetro y de 70 cm de largo. A los tubos se les realizó un corte longitudinal que permitió que la planta mantuviera conexión con el ambiente natural, permitiéndole la entrada y salida de agua; se enterró 30 cm de cada uno de los tubos, quedando en la superficie el resto del tubo, que se rellenó con suelo 15 cm y se colocaron las plántulas de vivero que tenían otros 15 cm de tierra, lo que permitió levantar a las plantas unos 30 cm del nivel del suelo (fig.5) para evitar que las plantas permanecieran anegadas.

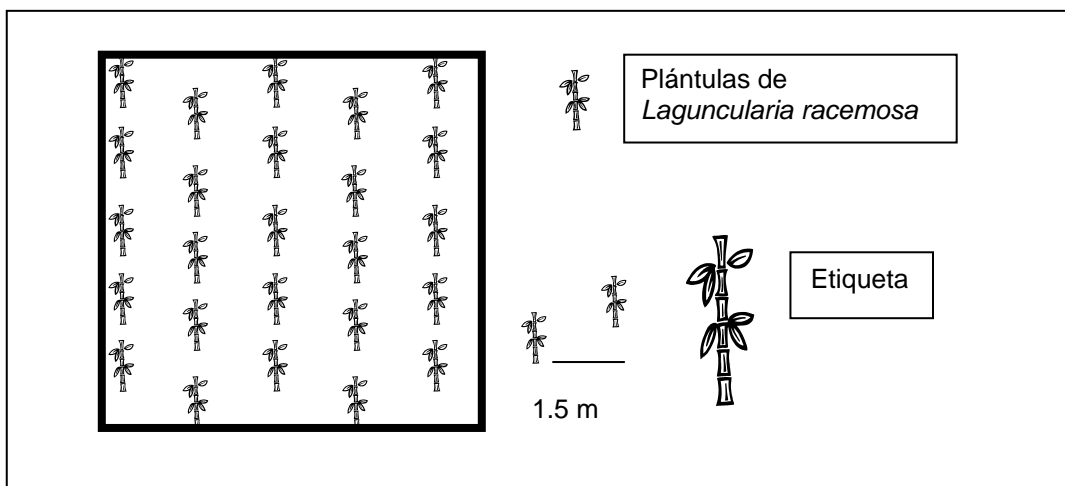


Figura 4. Distribución en campo de las plántulas de *Laguncularia racemosa*.

Plantación

Para la siembra se marcaron las plantas colocándoles una etiqueta de aluminio con un número, se evaluó la supervivencia de las plantas y para llevar el seguimiento de su crecimiento, se midió la altura y el número de hojas. Esto se hizo mensualmente durante 8 meses. La medición del mes septiembre no se realizó ya que no se podía entrar a la zona de estudio por la presencia del Huracán Stan.

El trasplante se realizó en el mes de agosto del 2005, en la época de lluvias, ya que entonces las probabilidades de supervivencia son más altas para las plantas y las concentraciones de sal son bajas en ese período.

Se calcularon las variables de crecimiento de altura promedio, tasa relativa de crecimiento en altura (TRCa), número de hojas promedio y tasa relativa de incremento en número de hojas (TRlh).

Cosecha

Se realizó una cosecha inicial al azar de 20 plantas en el mes de agosto del 2005 y una cosecha final al azar de 10 plantas de cada tratamiento en mayo del 2006. Para obtener el peso seco de las plantas, éstas se colocaron en un horno a 70 ° C durante 72 horas y después se pesaron en una balanza analítica para el registro del peso seco en tallo, raíz y hojas.

Se calcularon las variables de crecimiento de cociente raíz vástago C/V, peso seco inicial y final en hojas raíz tallo y total de las plantas en ambos tratamientos, de acuerdo a las fórmulas mencionadas anteriormente en el apartado de variables de crecimiento.

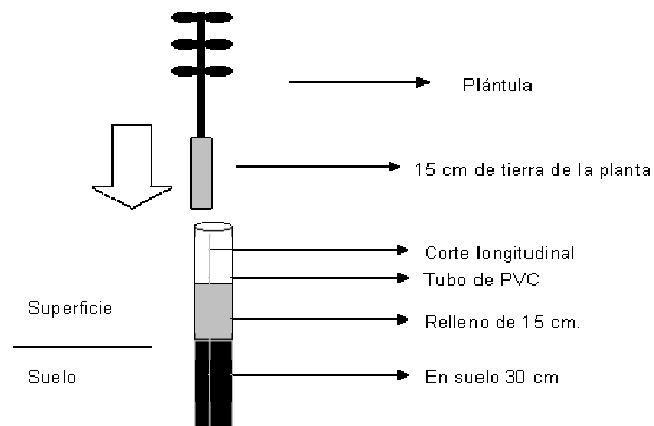


Figura 5. Siembra de las plantas de *Laguncularia racemosa* mediante la Metodología de Encajonamiento de Riley (Riley y Salgado1999).

Análisis estadístico

Regeneración natural

Para saber si había diferencias significativas entre el peso seco inicial y el final de hojas, tallo, raíz, raíz/vástago y total, se les aplicó una t - student de variables independientes siempre y cuando los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza; cuando no se cumplieron éstos se realizó una prueba de t- student con estimación de varianzas.

Reforestación

Para saber si había diferencias en la supervivencia de las plantas entre los tratamientos, sin pasto (TSP) y con pasto (TCP) se realizó una prueba de Peto y Pyke (1973).

A los datos de altura y número de hojas se les aplicó una ANOVA (Zar 1999) de una sola vía a los tiempos iniciales, para saber si éstos eran iguales en un inicio.

Se realizó una prueba no paramétrica Mann Whitney (Zar 1999) de comparación de dos muestras independientes (tratamiento con pasto y sin pasto) a los datos de las tasas relativas de crecimiento en altura (TRCa), a las tasas de incremento en el número de hojas (TRIH) y a él número de hojas para saber si había diferencias significativas. Los datos cumplieron con los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad. En los datos de la altura no se realizó, ya que la anova de una vía mostró diferencias significativas en la altura inicial.

Para las variables de crecimiento calculadas de peso seco de hojas, tallo, raíz, raíz/vástago y peso total, se aplicó una Anova factorial de variables independientes (Zar 1999), donde los factores fueron los tiempos (inicial y final) y tratamientos (TCP y TSP) y las variables eran los diferentes pesos secos. Finalmente a todas las variables se les realizó una comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey. Los datos cumplieron con los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad.

RESULTADOS

Geomorfología

Morfogénesis del relieve

El relieve del entorno de la Laguna La Cerca está integrado por dos tipos geomorfológicos (fig.6):

a) Planicie fluvial acumulativa: morfológicamente plana, con sectores aislados de encauzamiento de desagües; formada por los procesos de transporte y acumulación de los ríos Papaloapan y Acula, contando con dos planos de inundación, uno bajo, de 1 - 2 m de altura relativa con respecto al río, y otro alto, entre 3 - 4 m, donde fueron excavados los pozos edáficos 2 y 3.

Esta planicie está constituida por arcillas y limos, los que son distribuidos durante las avenidas fluviales, las cuales en el presente están más controladas debido a los sistemas hidráulicos de regulación de caudales del Río Papaloapan existentes aguas arriba de la zona de estudio. Los pozos 2 y 3 evidenciaron esta composición arcillosa y franco - arcillosa.

b) Planicie lacustre acumulativa: plana, muy baja, de inundación permanente, con microdepresiones y microrrelieve lacustre y biogénico, este último formado por la acción del ganado bovino. Esta planicie es estrecha, estando confinada al sector meridional de la Laguna La Cerca.

Perfil de las estructuras edáfico - sedimentológica y geomorfológica

Los pozos de suelos fueron establecidos en diferentes ambientes geomorfológicos, a saber: (a) Pozo 1 - Planicie lacustre acumulativa, muy baja, de inundación permanente, transitando por dos pozos (Pozos 2 y 3) en la planicie acumulativa fluvial, plana y con pendientes muy suaves. Las distancias entre los pozos 1 y 2 de 490 m y de 1 600 m entre el 2 y el 3; este último se localiza casi en el borde del tránsito de la superficie de la planicie fluvial acumulativa con el cauce del Río Papaloapan (fig. 7).

En general, se revelaron seis facies sedimentológicas en los distintos pozos establecidos. El primero posee dos facies sedimentarias (I y II), mientras que en el segundo se encontraron cuatro facies, dos inferiores que coinciden con las localizadas en la planicie lacustre acumulativa, baja, de inundación permanente (I y II), las cuales fueron sepultadas por las dos facies restantes superficiales (III y IV), y en la tercera sólo se encontraron dos facies (V y IV) (ver fig.7).

Análisis fisicoquímicos del suelo de los pozos edáficos

La textura del suelo es diferente en los distintos pozos, en los pozos 1 y 2, se presentan suelos arcillosos, y en el pozo 3 se muestra un suelo de textura franco-arcilloso, y otro franco-limo arcilloso.

Asimismo, el contenido de materia orgánica varió de un valor de muy alto con porcentajes de 7.55, 18, 13.6 y 18.55, un valor alto de 3.87%, un valor medio con valores de 1.6 y 2.1% y por último un valor muy bajo de 0.55%.

La salinidad va de valores extremos de 17 y 15 ‰ en el pozo 1, de valores altos de 8 y 9 ‰ en el pozo dos y de valor 0 nulo en el pozo 3.

El pH va de neutro a fuertemente alcalino. La planicie lacustre (pozo 1) presenta valores neutros de pH de 6.8 y de 6.9, mientras que la zona intermedia (pozo 2) presenta valores neutros de pH de 6.99 en el primer horizonte, valores medianamente alcalinos de pH de 7.52 en el segundo horizonte y fuertemente alcalinos de pH 8.73 y 8.8 en los siguientes horizontes; en la zona de la llanura de alta inundación (pozo 3) los valores también fueron fuertemente alcalinos (cuadro 3).

La textura, el color y el contenido de materia orgánica en el suelo de los distintos pozos, fue lo que determinó las distintas facies sedimentológicas localizadas en el perfil geomorfológico (fig. 7).

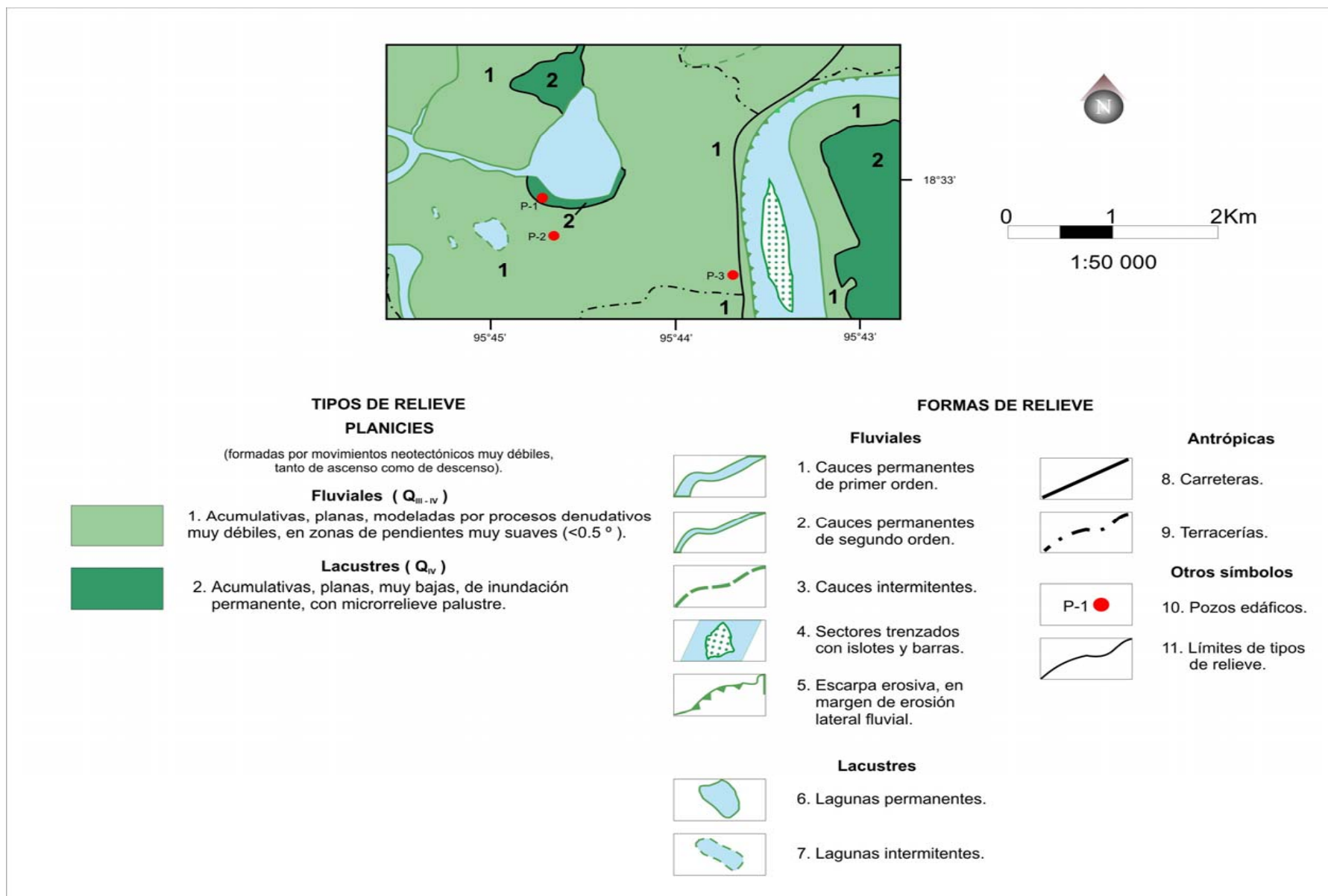
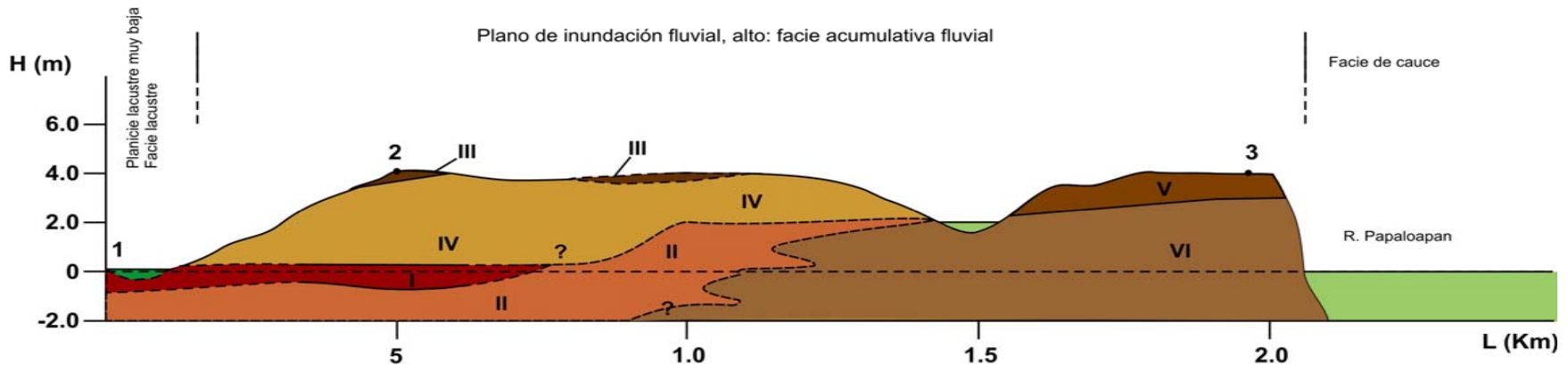


Figura 6. Mapa geomorfológico del entorno de la Laguna La Cerca, Tlacotalpan, Veracruz (escala 1:50 000).

Perfil Geomorfológico y Edáfico-sedimentológico A-B



Leyenda

Facies sedimentarias

- I. Arcilloso, con contenido medio de materia orgánica (1.6-2.1%).
Pozos 1 (horizonte A) y 2 (horizonte 3).
- II. Arcilloso, con contenido muy alto de materia orgánica (7.55-13.68%).
Pozos 1 (horizonte B) y 2 (horizonte 4).
- III. Arcilloso, con alto contenido de materia orgánica (3.87%).
Pozo 2 (horizonte A).
- IV. Arcilloso con contenido muy alto de materia orgánica (18.0%).
Pozo 2 (horizonte B).
- V. Franco-arcilloso, con contenido muy bajo de materia orgánica (0.55%).
Pozo 3 (horizonte A).
- VI. Franco-limo arcilloso, con contenido muy alto de materia orgánica (18.55%).
Pozo 3 (horizonte B).
- 1,....,3 Pozos de suelos.
- Cauces del Río Papaloapan y arroyos locales.
- Nivel de La Laguna La Cerca.

Figura 7. Perfil geomorfológico y edáfico-sedimentológico.

Cuadro 3. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo del perfil geomorfológico: Textura, materia orgánica, el color, salinidad total, pH y conductividad eléctrica. La valoración de los resultados está basada en la norma mexicana NOM-021-RECNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2000).

Pozos	Horizontes	Textura	Materia orgánica		Color	pH	Salinidad	
			% de materia orgánica	valoración	seco/húmedo	H+	‰	Valoración
Pozo 1 Llanura lacustre	horizonte A	Arcilloso	1.6	Medio	Café grisáceo/ Café muy oscuro grisáceo	6.86 Neutro	15	extrema
	horizonte B	Arcilloso	7.55	Muy alto	Café brillante amarillento/café olivo	6.91 Neutro	17	extrema
Pozo2 Zona intermedia	horizonte A	Arcilloso	3.87	alto	Café grisáceo/ Café muy oscuro grisáceo	6.99 neutro	8	alta
	horizonte B	Arcilloso	18	Muy alto	Café grisáceo/Café oscuro grisáceo	7.52 Medianament e alcalino	8	alta
	horizonte 3	Arcilloso	2.1	Medio	Café grisáceo/Café oscuro grisáceo	8.73 Fuertemente alcalino	9	alta
	horizonte 4	Arcilloso	13.68	Muy alto	Café brillante amarillento/Café olivo	8.88 Fuertemente alcalino	8	alta
Pozo3 Zona de la llanura alta de inundación	horizonte A	Franco arcilloso	0.55	Muy bajo	Café pálido/Café oscuro	8.4 Fuertemente alcalino	0	nula
	horizonte B	Franco limo arcilloso	18.55	Muy alto	Café brillante amarillento/Café oscuro amarillento	8.82 Fuertemente alcalino	0	nula

Parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio ZRN y ZR.

En la zona de regeneración Natural (ZRN) se montaron los cuadros de regeneración natural para *Avicennia germinans* y se hizo el estudio de la estructura.

En la zona de reforestación (ZR), se realizó el transplante de plántulas de *Laguncularia racemosa* en dos tratamientos, sin pasto y con pasto.

Nivel de inundación

En la temporada de lluvias el nivel más alto de inundación alcanzado en las diferentes zonas de trabajo fue el mes de octubre, donde en la parte de estructura alcanzó un nivel de 59 cm, en la del tratamiento con pasto 58 cm, en el tratamiento sin pasto 56 cm y finalmente la de regeneración con 43 cm. En el mes de abril ya no había inundación en ninguno de las zonas de trabajo (fig.8).

pH

El valor de pH en suelo de la zona de reforestación (ZR) en los tratamientos con pasto (TCP) y sin pasto (TSP) va de neutro a ácido. El valor de pH en el mes de octubre fue de 6.88 en el TSP y 7.3 en el TCP manteniéndose cercanos a la neutralidad; éstos empiezan a cambiar a valores de acidez, desde el mes de diciembre en ambos tratamientos, siendo en el mes de mayo en donde presentaron los valores más ácidos con un pH de 4.12 en el tratamiento con pasto, mientras que en el tratamiento sin pasto fue de 4.92.

En la zona de regeneración natural (ZRN) en la parte de la estructura y regeneración los valores de pH van de ligeramente alcalino a neutros (fig. 9).

Salinidad

En zona de reforestación (ZR), el tratamiento con pasto en todos los meses obtuvo concentraciones de salinidad mucho más altas que el tratamiento sin pasto, excepto en el mes de mayo donde alcanzó 40⁰/₀₀ de salinidad, que representa más del doble del tratamiento con pasto, que obtuvo un 16⁰/₀₀ de salinidad.

En la zona de regeneración natural (ZRN) la concentración de salinidad siempre fue más alta en la parte de estructura, que en la parte de regeneración, excepto en los meses de marzo, abril y mayo, presentando en este último mes la concentración más alta de salinidad 65 ‰ en la parte de regeneración, y 30 ‰, en la parte de estructura (fig.10).

Las condiciones fisicoquímicas de las zonas de estudio son diferentes ya que en la zona de regeneración natural (ZRN), el microrrelieve es mucho más elevado, determinando un nivel de inundación muy inferior a diferencia del de la zona de reforestación (ZR) en la que la columna de agua es más alta en las diferentes temporadas. Además, la ZRN tiene mayor concentración de sales que la ZR. El pH en la primera es ligeramente alcalino, mientras que en la segunda es ligeramente ácido (ver cuadro 4)

Las parcelas de la ZR no varían mucho en las condiciones fisicoquímicas, ya que la columna de agua alcanzó el mismo nivel, y el pH fue el mismo, pero la salinidad es más alta en la parcela del tratamiento con pasto (TCP), en la temporadas de lluvia y de nortes, pero en la temporada de sequía en el tratamiento sin pasto (TSP) aumenta la concentración de sales alcanzando y rebasando las concentraciones del TCP (ver cuadro 5).

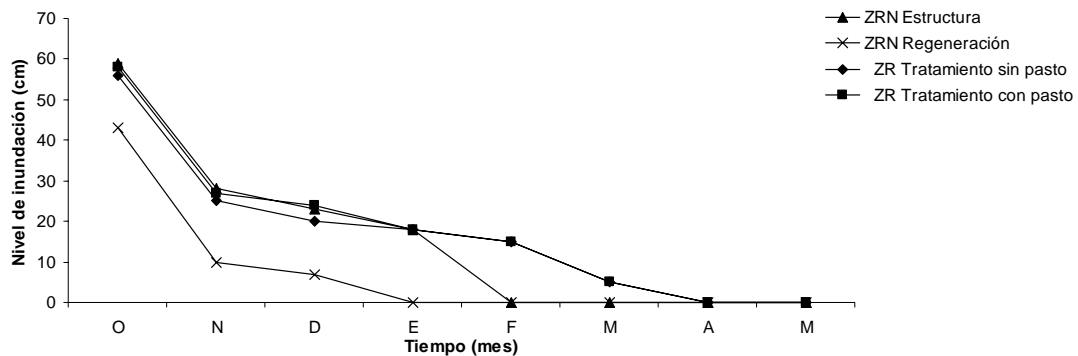


Figura. 8. Nivel de inundación en las zonas de estudio.

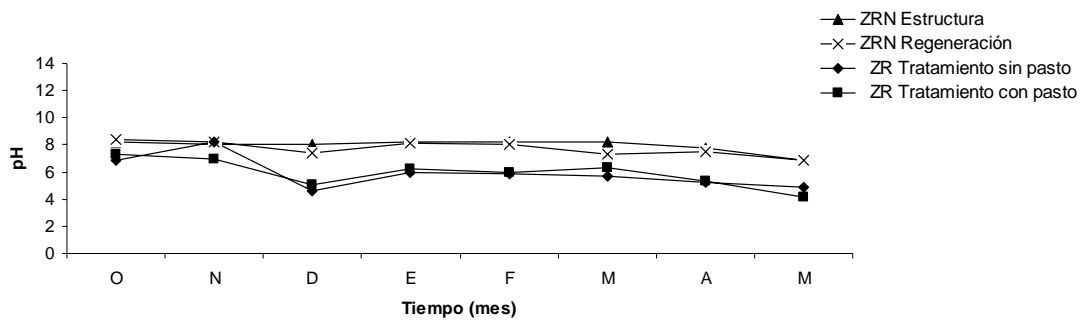


Figura. 9. pH en suelo de las zonas de estudio.

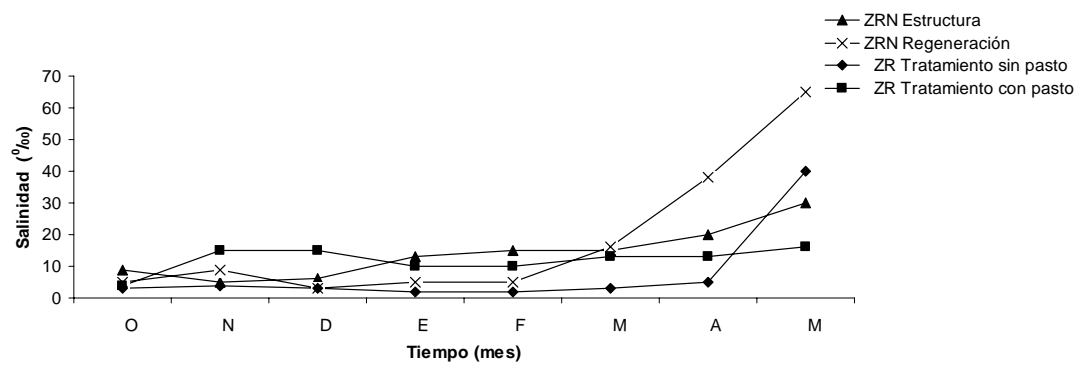


Figura. 10. Concentración de salinidad en mg / litro en suelo de los sitios de estudio.

Cuadro 4. Condiciones físico-químicas promedio (\pm EE) de las zonas de restauración (ZR) y de regeneración (ZRN) en las distintas temporadas del año.

Parámetros físico-químicos	Zonas	Temporada						Comentarios
		Resultados			Comparación de las zonas			
		Lluvia	nortes	secas	Lluvia	Nortes	Secas	
Nivel de inundación (cm)	ZR	57 \pm 1.0	20 \pm 1.6	1.7 \pm 1.0	ZR>ZRN	ZR>ZRN	ZR>ZRN	La ZR es más inundable
	ZRN	49 \pm 6.0	8.8 \pm 3.3	0 \pm 0.0				
pH del sedimento	ZR	7.09 \pm 0.2	6.1 \pm 0.3	5.26 \pm 0.3	Neutro	Acido	Ácido	Tiende hacia pH ácidos
	ZRN	8.31 \pm 0.1	8.04 \pm 0.1	7.41 \pm 0.2	Alcalino	Álcalino	Neutro	Tiende hacia pH alcalinos
Salinidad del sedimento mg/l	ZR	3.5 \pm 0.5	7.6 \pm 2.0	15 \pm 5.4	ZR<ZRN	ZR=ZRN	ZR<ZRN	La ZRN tiene mayor concentración de sales
	ZRN	7.0 \pm 2.0	7.6 \pm 1.5	18 \pm 4.5				

Cuadro 5. Condiciones físico-químicas promedio (\pm EE) de las parcelas de reforestación en el TSP y el TCP en las distintas temporadas del año.

Parámetros físico-químicos	ZR	Temporada						Comentarios
		Resultados			Comparación de los tratamientos			
		Lluvia	Nortes	secas	Lluvia	Nortes	secas	
Nivel de inundación (cm)	TSP	56	19.5 \pm 2.1	5 \pm 1.6	TSP<TCP	TSP<TCP	TSP=TCP	El nivel de inundación es casi igual en los tratamientos
	TCP	58	21 \pm 2.7	5 \pm 1.6				
pH del sedimento	TSP	6.88	6.15 \pm 0.74	5.27 \pm 0.2	TSP=TCP	TSP=TCP	TSP=TCP	El pH es igual en los tratamientos
	TCP	7.30	6.06 \pm 0.37	5.25 \pm 0.6				
Salinidad del sedimento mg/l	TSP	3.00	2.75 \pm 0.4	16 \pm 12.0	TSP<TCP	TSP<TCP	TSP>TCP	El TCP tiene mayor salinidad
	TCP	4.00	12.5 \pm 1.4	14 \pm 1.0				

* En la temporada de lluvias sólo hubo un dato.

Estructura

VARIABLES ESTRUCTURALES

La vegetación de la zona de regeneración natural (ZRN), está constituida fundamentalmente por árboles de *Avicennia germinans*, con una abundancia de 25 árboles en 400 m² y un área basal de 0.945 m². La altura promedio de los árboles es de 9.8 m con un valor máximo de 18 m y mínimo de 2 m. La cobertura fue de 376.72 m²; prácticamente el dosel cubría el 94% del área en estudio.

Proyectándolo a una hectárea tendríamos una abundancia de 625 árboles, un área basal de 23.62m² y una cobertura de 9,418.09 m²

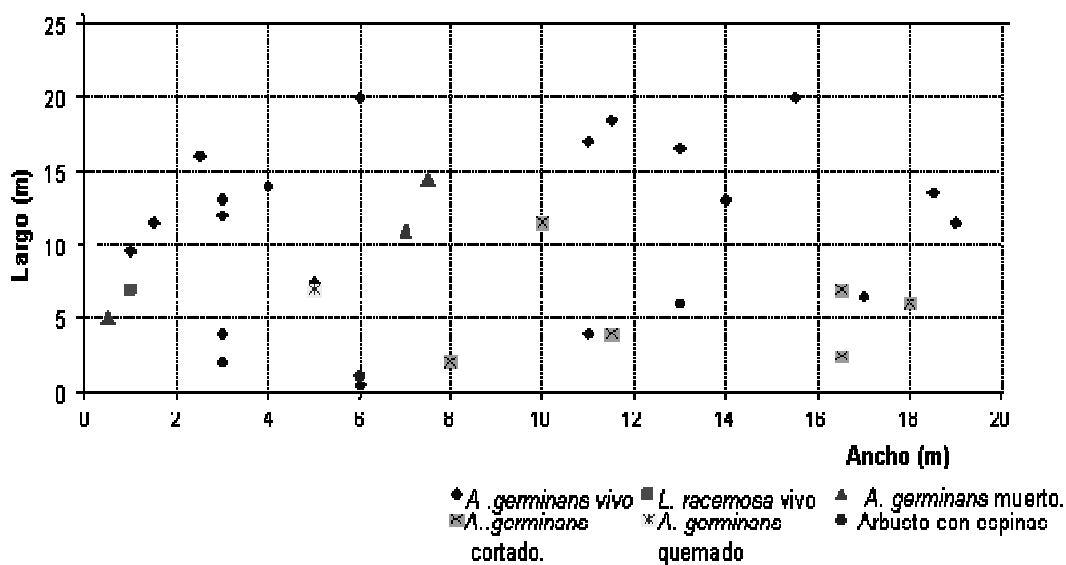


Figura 11. Distribución de los árboles de *Avicennia germinans* en el cuadro de estructura.

En el predio de estudio se colectaron un total de 24 especies de plantas pertenecientes a 24 géneros y 20 familias (ver apéndice 1).

Regeneración natural: *Avicennia germinans*.

Supervivencia

La supervivencia de las plantas de *Avicennia germinans* fue menor a 20%, presentándose un descenso mayor en el porcentaje de supervivencia en septiembre y octubre de un 70% a un 19% donde se mantuvo estable de octubre a marzo (fig.12).

Variables de crecimiento

Altura promedio

En los primeros ocho meses, de marzo a octubre, fue aumentando notablemente la altura promedio de las plantas, en comparación con los siguientes cinco meses que aumentó pero en menor grado, alcanzando las plantas una altura promedio al año de 0.67 metros (fig. 13).

Tasa relativa de crecimiento en altura promedio (TRCa)

La tasa relativa de crecimiento en altura (TRCa) de julio a octubre fue mayor en comparación con los otros meses. Los valores más altos de las TRCa fueron en julio y agosto.

En los meses de diciembre enero y marzo, se presentaron las TRCa más bajas. En el mes de febrero se presentó un valor negativo en la TRCa (fig. 14).

Número de hojas promedio

El número de hojas promedio, fue aumentando cada mes excepto en los meses de febrero y marzo. Al final del estudio, las plantas tuvieron en promedio 8 hojas (fig.15).

Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh).

Los meses donde se presentó mayor producción de hojas, fueron julio y agosto mientras que en los meses de octubre, febrero y marzo presentaron TRlh negativas, es decir hubo pérdida de hojas. En el mes de octubre se presentó una mayor pérdida de hojas (fig. 16).

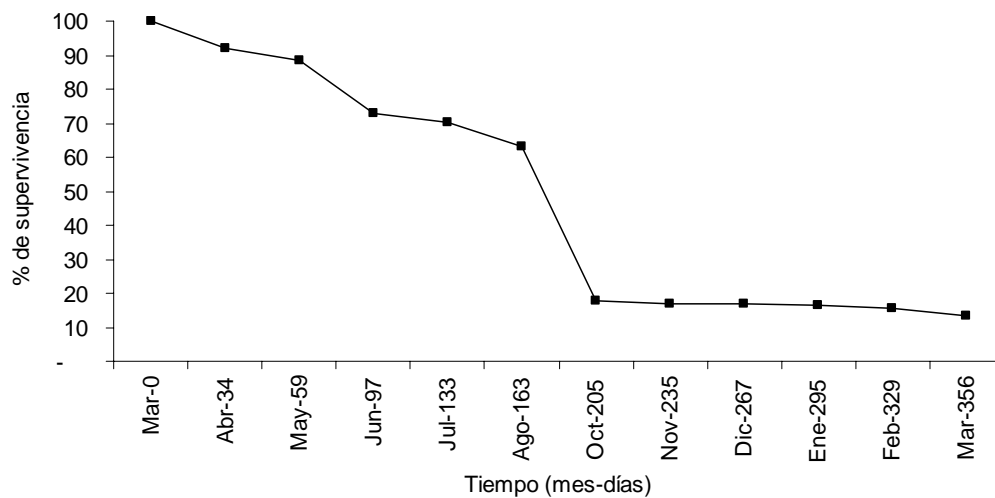


Figura 12. Porcentaje de supervivencia de las plantas de *Avicennia germinans* a lo largo de un año.

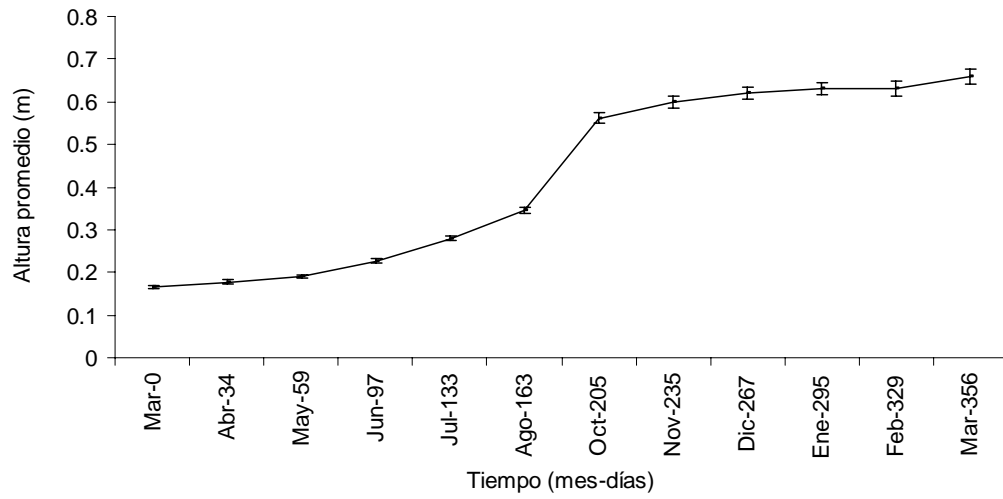


Figura 13. Altura promedio (\pm EE) de *Avicennia germinans* a lo largo de un año.

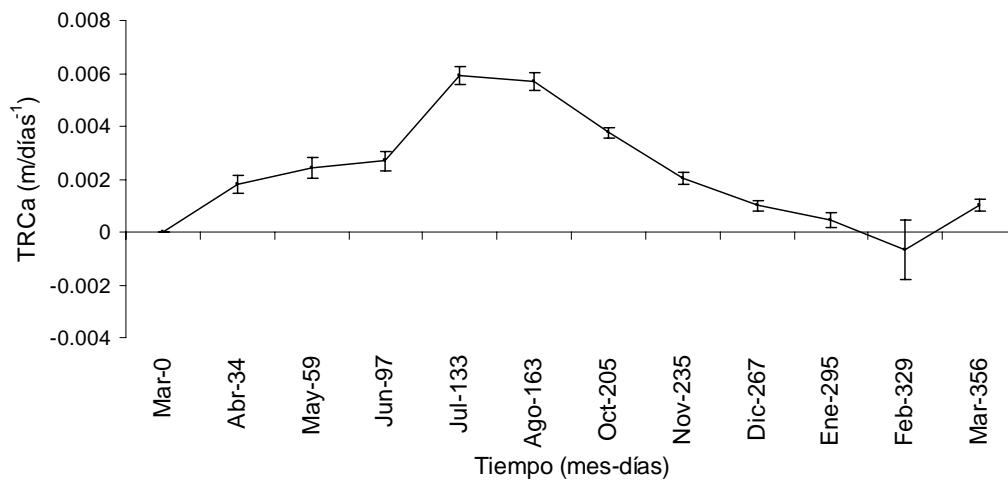


Figura 14. Tasa relativa de crecimiento promedio (\pm EE) en altura (TRCa) de las plantas de *Avicennia germinans* a lo largo de un año.

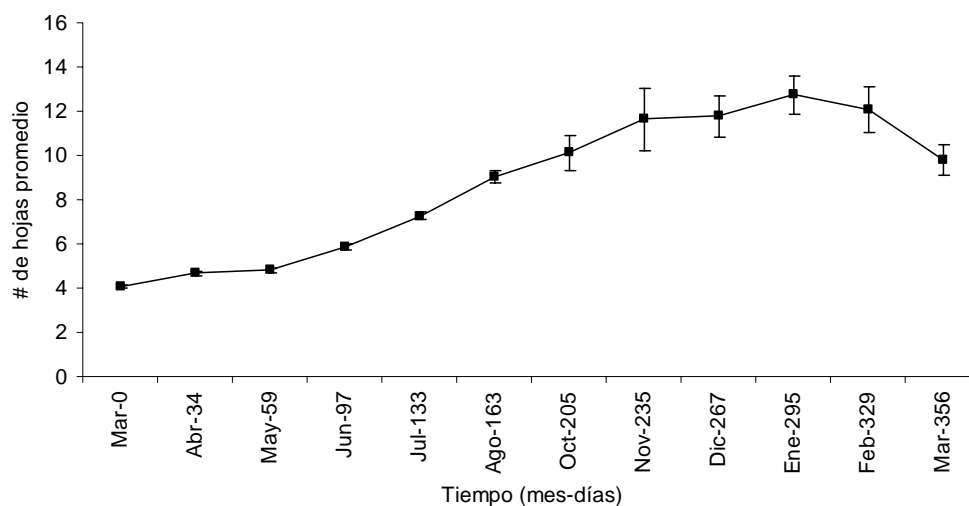


Figura 15. Número de hojas promedio (\pm EE) de las plantas de *Avicennia germinans* a lo largo de un año.

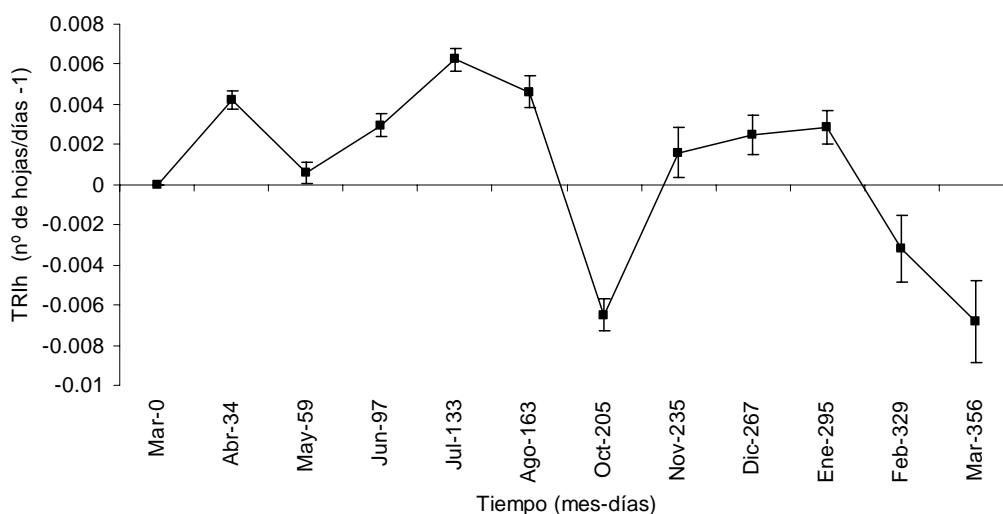


Figura 16. Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh) (\pm EE) de las plantas de *Avicennia germinans* a lo largo de un año

Peso seco, tallo, hojas raíz y total

El peso seco final promedio total de las plantas de *Avicennia germinans* fue de 5.20 g. Las plantas destinaron el 62% en tallo, lo que representa un peso seco promedio de 3.21g, mientras que en hojas destinaron el 19.5% equivalente en peso seco a 0.96 g y en raíz el 18.5 % con un peso seco promedio de 1.01 g.

El crecimiento de las distintas partes de la planta, fue mayor en tallo con un aumento en peso seco de 2.93g, en raíz de 0.87 g y por último la hoja de 0.78 g.

Las diferencias entre los pesos secos de las diferentes estructuras de las plantas iniciales y finales fueron significativas: en hoja ($t = -10.81$ $p = 0.000001$) en tallo ($t = -19.77$ $p = 0.000001$) en raíz ($t = 10.36$ $p = 0.000001$) y peso total ($t = -20.17$ $p = 0.000001$) (fig. 17).

Cociente de raíz /vástago

El cociente de raíz/vástago fue mayor a 0.01g, siendo la parte aérea mayor que la parte subterránea.

Las diferencias entre el cociente raíz/vástago ($t = -0.5718$ $p = 0.5690$) no fueron significativas (fig. 18).

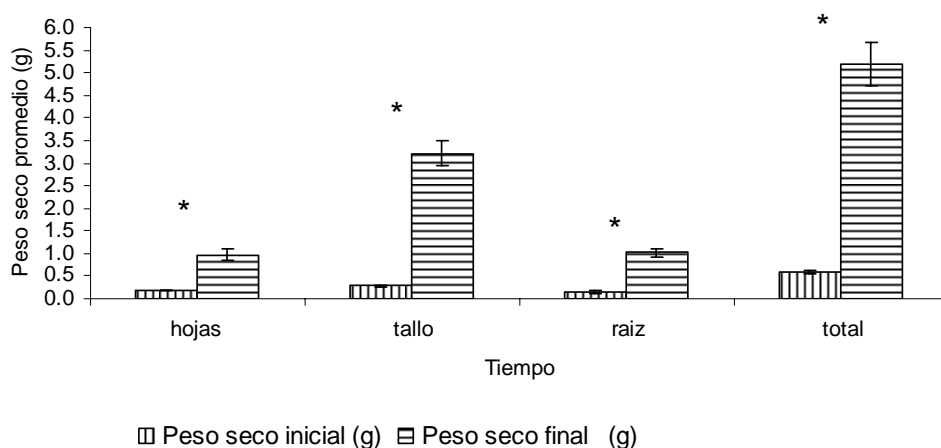


Figura 17. Peso seco promedio en hojas, tallo, raíz y total, (\pm EE) de las plantas de *Avicennia germinans*, a lo largo de un año. El signo asterisco (*) indica diferencias significativas entre el peso inicial y final de cada estructura de la planta.

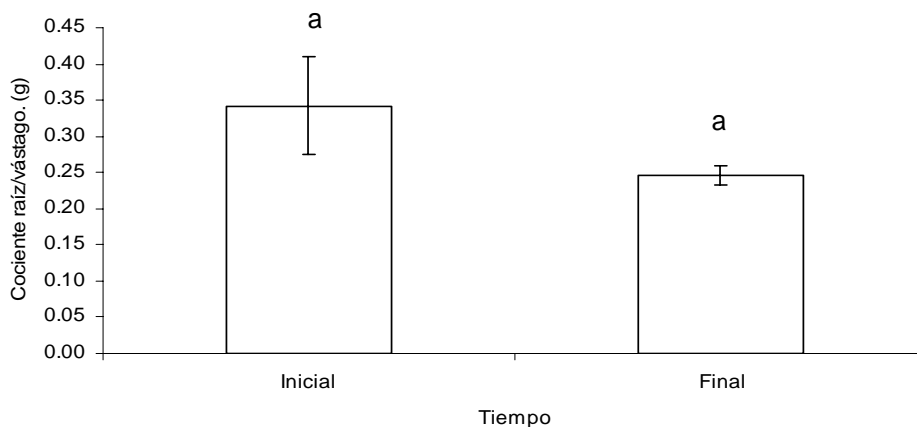


Figura 18. Cociente raíz/vástago promedio (\pm EE) en *Avicennia germinans*. Letras diferentes marcan diferencias significativas.

Reforestación: *Laguncularia racemosa*.

Supervivencia

Las diferencias en la supervivencia de las plantas de *Laguncularia racemosa* no fueron significativas entre los tratamientos con pasto y sin pasto ($\chi^2 = 0.57$). El porcentaje de supervivencia fue de 88% en el tratamiento sin pasto (TSP) y de 86% en el tratamiento con pasto (TCP) (fig.19).

Variables de crecimiento

Altura promedio

Desde el inicio la altura de las plantas del TCP eran más altas en promedio siendo éste de 0.28 m, y las del TSP de 0.25 m; ésta diferencia continuó hasta el mes de marzo. Finalmente las plantas del TSP obtuvieron un promedio mayor que las plantas del TCP.

Las diferencias en las alturas iniciales entre los tratamientos ($F =_{(1,98)} 6.35$, $p = 0.01$) fueron significativas, por lo que se trabajó con la tasa de crecimiento en la altura (fig. 20).

Tasa relativa de crecimiento en altura promedio (TRCa)

Las diferencias de las TRCa entre el TSP y TCP fueron significativas ($U = 708$, $p = 0.01$). El TSP alcanzó la tasa promedio más alta 0.0027 ± 0.0001 , mientras que en el TCP fue menor (0.0022 ± 0.0002) (fig. 21).

Las diferencias de las tasas mensuales entre los tratamientos sólo en los meses de diciembre ($U=682.50$, $p=0.01$), marzo ($U=679.00$, $p=0.01$), abril ($U=601.50$, $p=0.01$) y mayo ($U=661.50$, $p=0.01$) fueron significativas (fig.22).

Número de hojas promedio

Las diferencias en el número de hojas iniciales entre los tratamientos no fueron significativas ($F=_{(1,98)} 0.889$, $p=0.34$); ambos tratamientos iniciaron con el mismo número de hojas (fig. 23)

Las diferencias en el número de hojas mensuales para ambos tratamientos, sólo en los meses de diciembre ($U=619$, $p=0.01$), enero ($U= 534$, $p= 0.01$), febrero ($U= 477$, $p= 0.001$), marzo ($U= 436$, $p=0.0001$), abril ($U=260$, $p=0.0001$) y mayo ($U=194$, $p=0.0001$) fueron significativas (fig.23).

Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh)

Las diferencias de las TRlh entre el TSP y TCP fueron significativas ($U =247.50$, $p= 0.0001$). El TSP alcanzó la tasa promedio más alta 0.0072 ± 0.0003 , mientras que en el TCP fue menor (0.0037 ± 0.0003) (fig. 24).

La tasa de incremento en número de hojas promedio (TRlh), fue mayor siempre en el TSP que en el TCP. El mes en donde se presentó mayor TRIH fue en marzo en ambos tratamientos, siguiéndole el mes de enero. En abril y mayo sólo en el TSP se presentó una tasa alta, siendo lo contrario que sucedió en el TCP, donde fue baja. En los meses de noviembre y diciembre la tasa fue negativa, pues no hubo producción de hojas, al contrario, hubo pérdidas en el TCP; en el TSP la tasa fue muy baja (fig. 25).

Las diferencias de las TRlh mensuales entre los tratamientos sólo en los meses de febrero ($U=646$, $p= 0.01$), abril ($U= 514$, $p=0.001$), mayo ($U=596$, $p= 0.01$) fueron significativas (fig. 25)

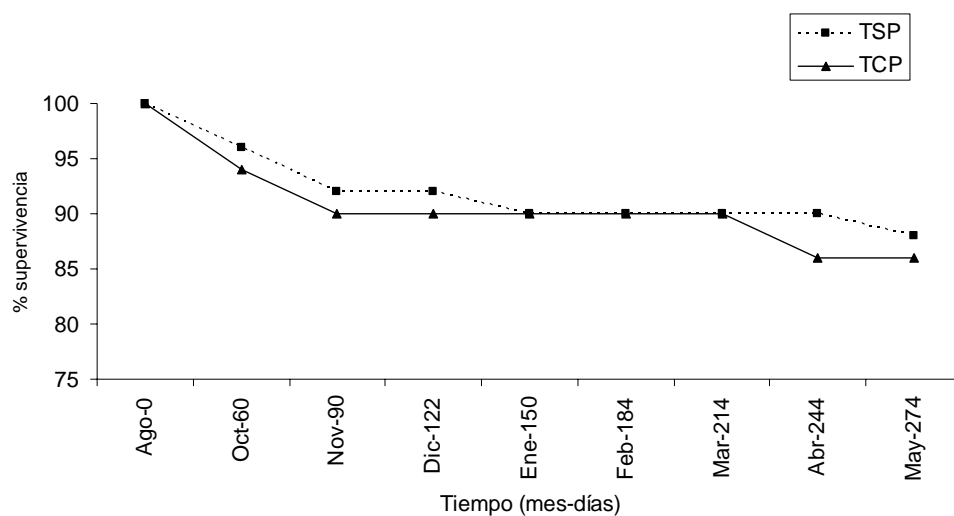


Figura 19. Porcentaje de supervivencia de las plantas de *Laguncularia racemosa*, del tratamiento sin pasto (TSP) y del tratamiento con pasto (TCP).

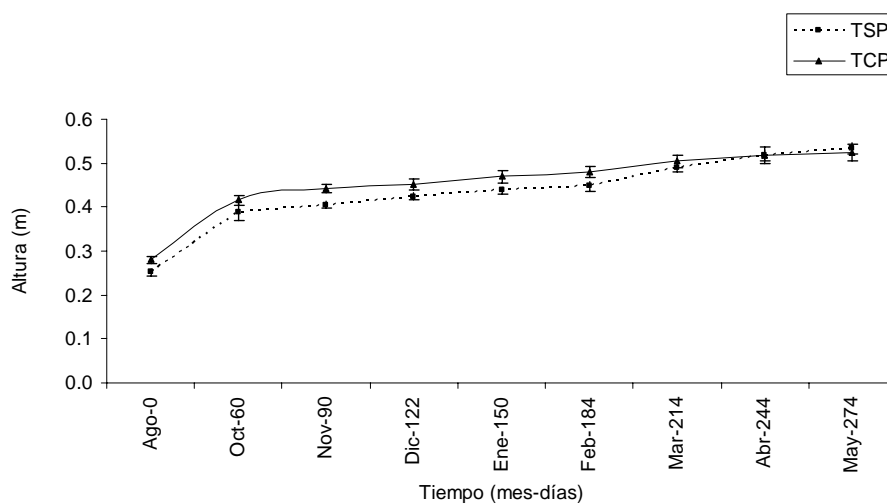


Figura 20. Altura promedio (\pm EE) de las plantas de *Laguncularia racemosa* en los diferentes tratamientos, sin pasto (TSP) y con pasto (TCP).

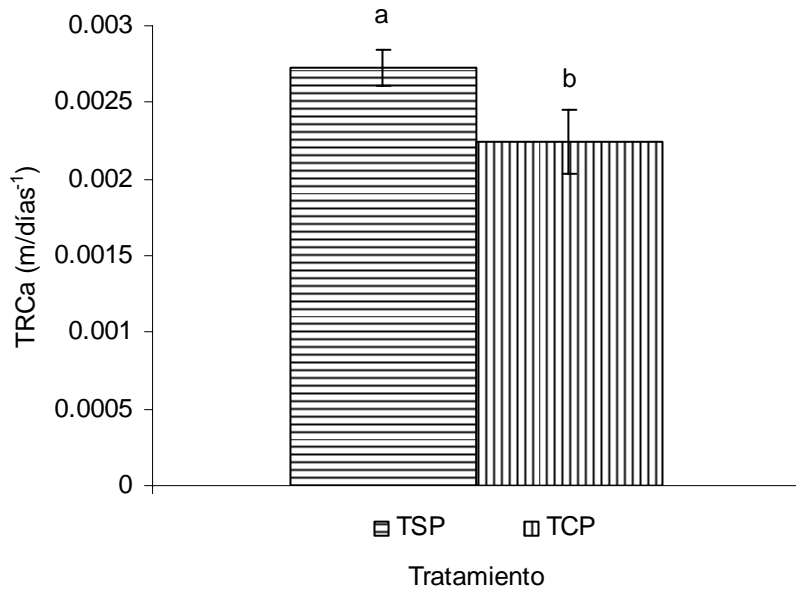


Figura 21. Tasa relativa de crecimiento en altura (TRCa) (\pm EE), a los 274 días de las plantas de *Laguncularia racemosa* en ambos tratamientos sin pasto (TSP) y con pasto (TCP). Letras diferentes indican diferencias significativas.

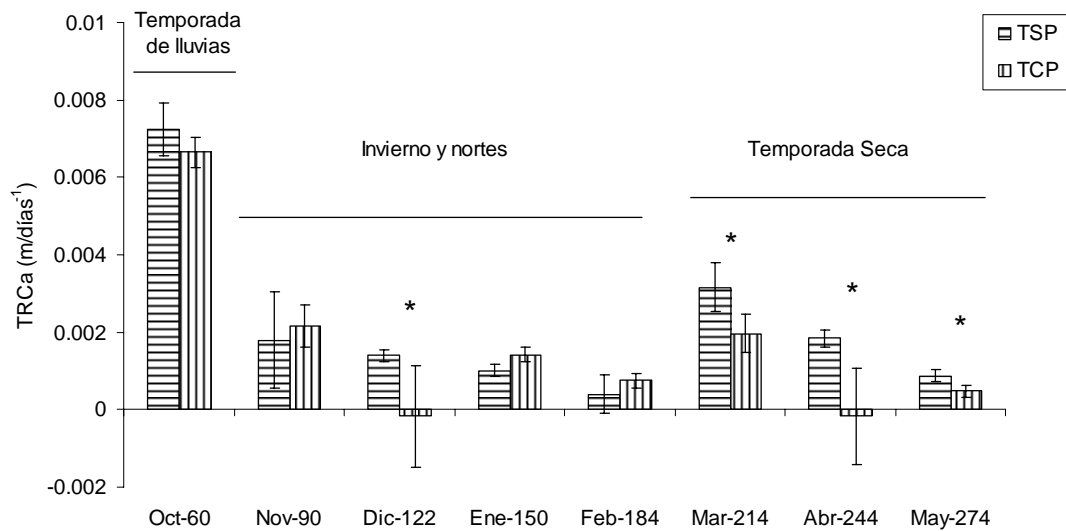


Figura 22. Tasa relativa de crecimiento en altura (TRCa) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en ambos tratamientos sin pasto (TSP) y con pasto (TCP) a lo largo de 8 meses. El signo asterisco (*) indica diferencias significativas entre tratamientos para cada mes.

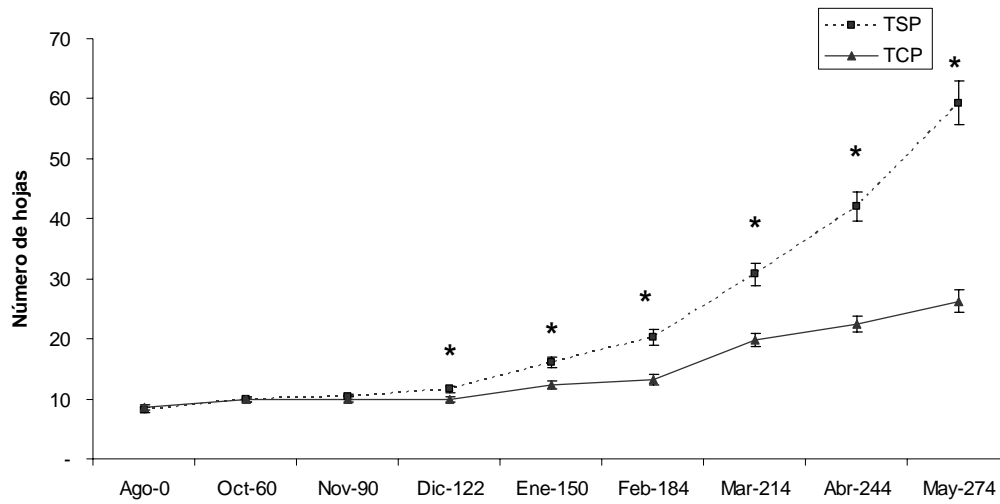


Figura 23. Número de hojas promedio mensual (\pm EE) de las plantas de *Laguncularia racemosa* en los diferentes tratamientos, sin pasto (TSP) y con pasto (TCP). El signo asterisco (*) indican diferencias significativas entre tratamientos para cada mes.

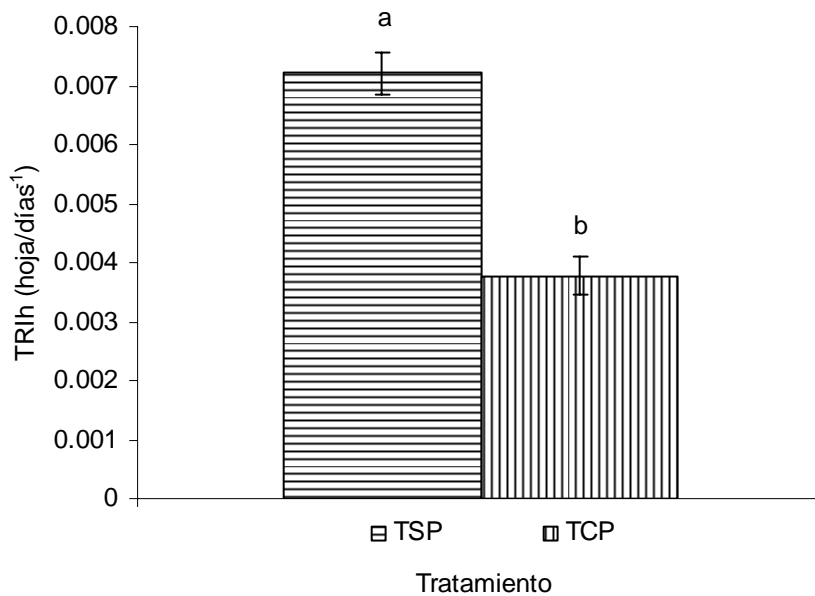


Figura 24. Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh) (\pm EE), a los 274 días de las plantas de *Laguncularia racemosa* en ambos tratamientos sin pasto (TSP) y con pasto (TCP). Letras diferentes indican diferencias significativas).

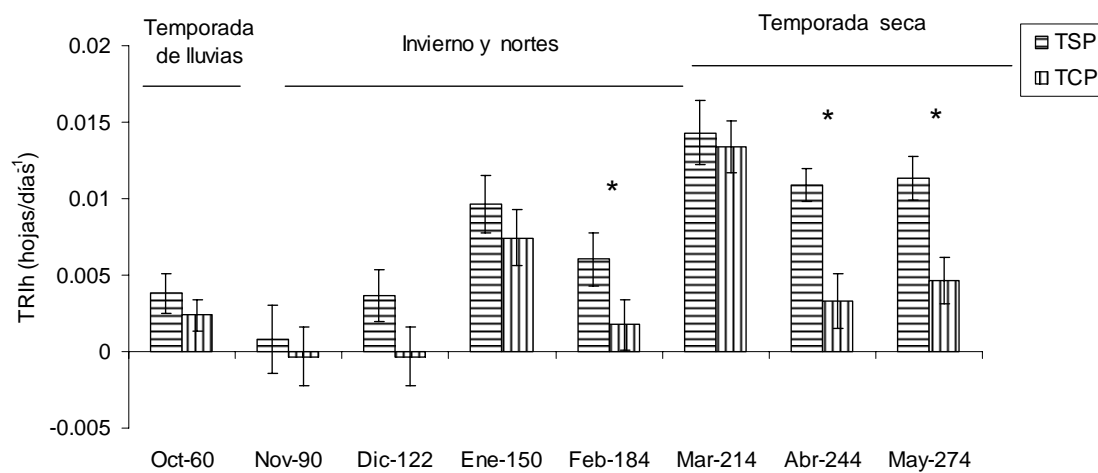


Figura 25. Tasa relativa de incremento en hojas promedio (TRlh) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en ambos tratamientos sin pasto (TSP) y con pasto (TCP), a lo largo de 8 meses. El signo asterisco (*) indica diferencias significativas entre tratamientos para cada mes.

Peso seco, hojas, tallo, raíz, raíz/vástago y total

Para el peso seco de hojas (fig.26b.), tallo (fig.27b), raíz (fig.28b), raíz/ vástago (fig.29b) total (fig.30b), así como en el TSP y como en el TCP se obtuvieron los valores mayores para la cosecha final.

En el caso de las hojas las diferencias entre el TSP y el TCP no fueron significativas, mientras que entre tiempos inicial y final ($F_{1,36} = 275.81$, $p < 0.00001$) y en la interacción entre tratamiento \times tiempo ($F_{1,35} = 4.3334$, $p < 0.04$) las diferencias si fueron significativas (fig.26a,b y c).

Para el peso seco del tallo las diferencias no fueron significativas entre los TSP y TCP, ni en la interacción entre tratamiento \times tiempo, mientras que entre tiempos inicial y final las diferencias si fueron significativas ($F_{1,36} = 149.72$, $p = 0.0001$) (fig.27a,b y c).

Para el peso seco en raíz las diferencias no fueron significativas entre tratamientos, ni entre tratamiento \times tiempo, mientras que entre los tiempos inicial y final las diferencias si fueron significativas ($F_{1,36} = 98.15$, $p < 0.0001$) (fig.28a, b y c).

Para el peso raíz /vástago las diferencias no fueron significativas entre los tratamientos ni entre tratamiento \times tiempo, mientras que entre los tiempos inicial y final las diferencias si fueron significativas ($F_{1,36} = 6.71$, $p < 0.01$) (fig.29a, b y c).

Para el peso seco total las diferencias no fueron significativas entre tratamientos, ni entre tratamiento \times tiempo, y entre los tiempos inicial y final las diferencias si fueron significativas ($F_{1,36} = 361.33$, $p = 0.0001$) (fig. 30a;b y c).

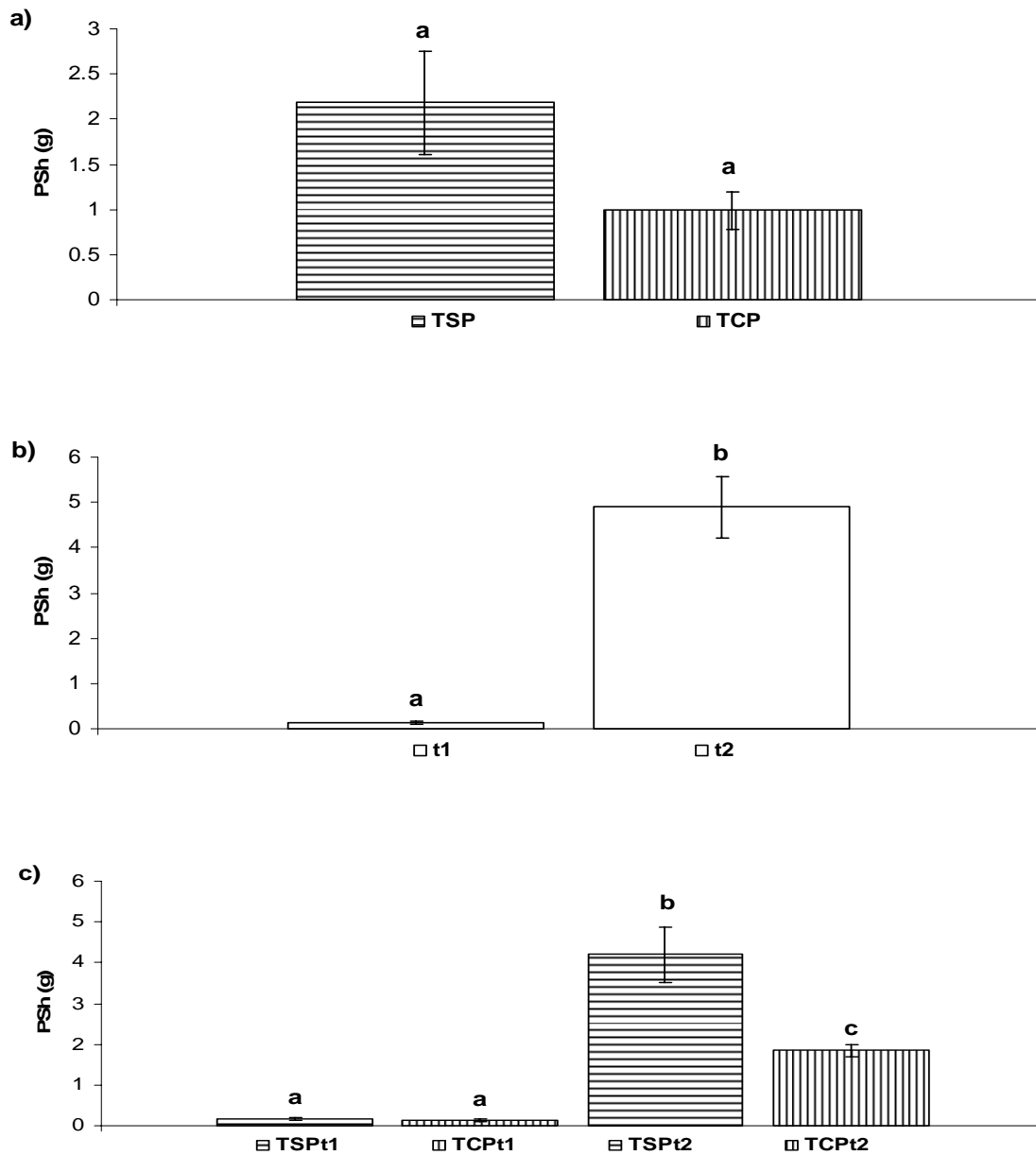


Figura 26. Peso seco promedio de hojas (PSH) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en: a) Tratamientos: sin pasto (TSP) y con pasto (TCP), b) Tiempos: inicial (t1) y final (t2) y c) Tratamiento x Tiempo: Tratamiento sin pasto tiempo inicial (TSPt1)-Tratamiento con pasto tiempo inicial (TCPt1) y Tratamiento sin pasto tiempo final (TSPt2)-Tratamiento con pasto tiempo final (TCPt2). Letras diferentes indican diferencias significativas.

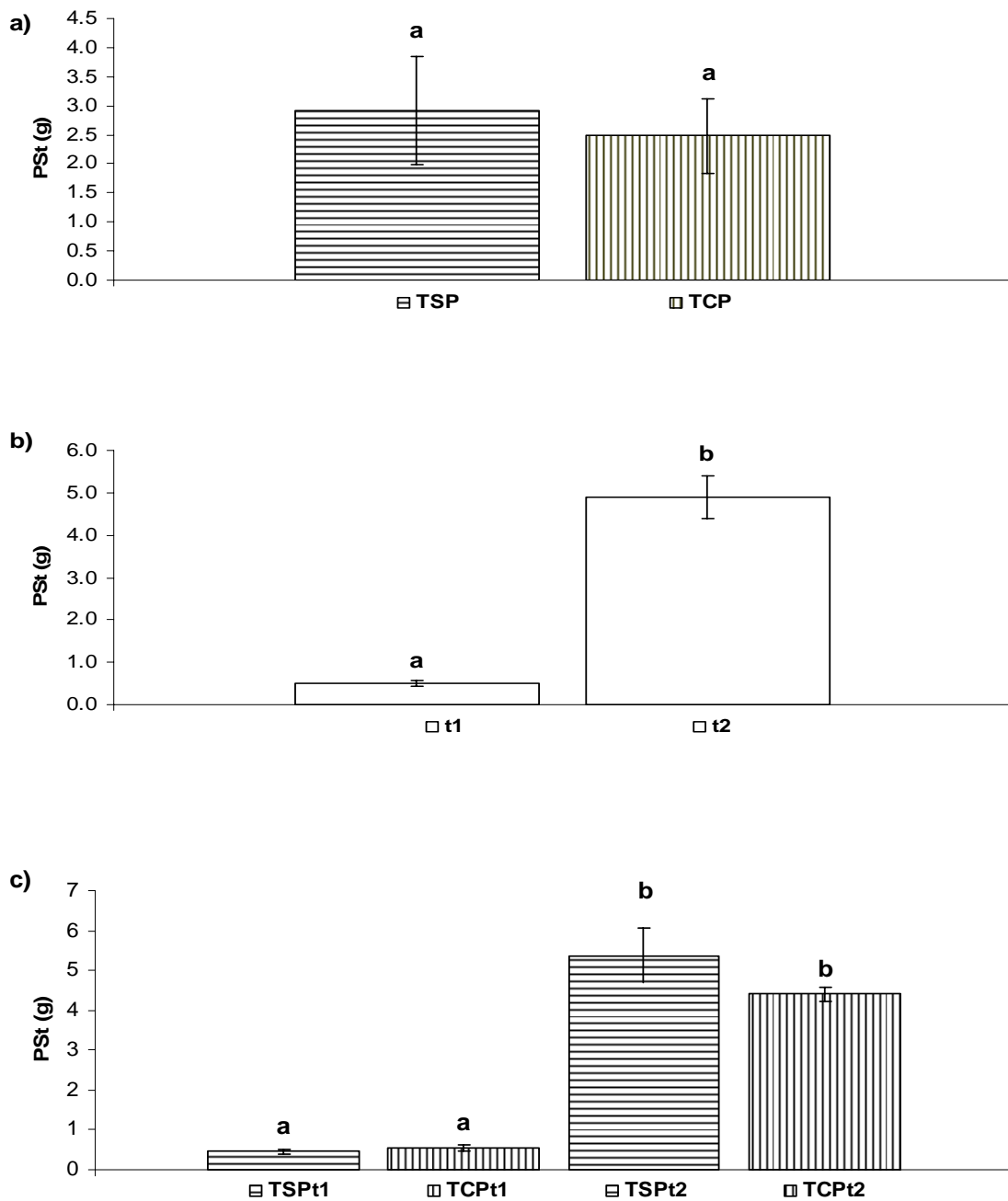


Figura 27. Peso seco promedio de tallo (PSt) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en: a) Tratamientos: sin pasto (TSP) y con pasto (TCP), b) Tiempos: inicial (t1) y final (t2) y c) Tratamiento x Tiempo: Tratamiento sin pasto tiempo inicial (TSPt1)-Tratamiento con pasto tiempo inicial (TCPt1) y Tratamiento sin pasto tiempo final (TSPt2)-Tratamiento con pasto tiempo final (TCPt2). Letras diferentes indican diferencias significativas.

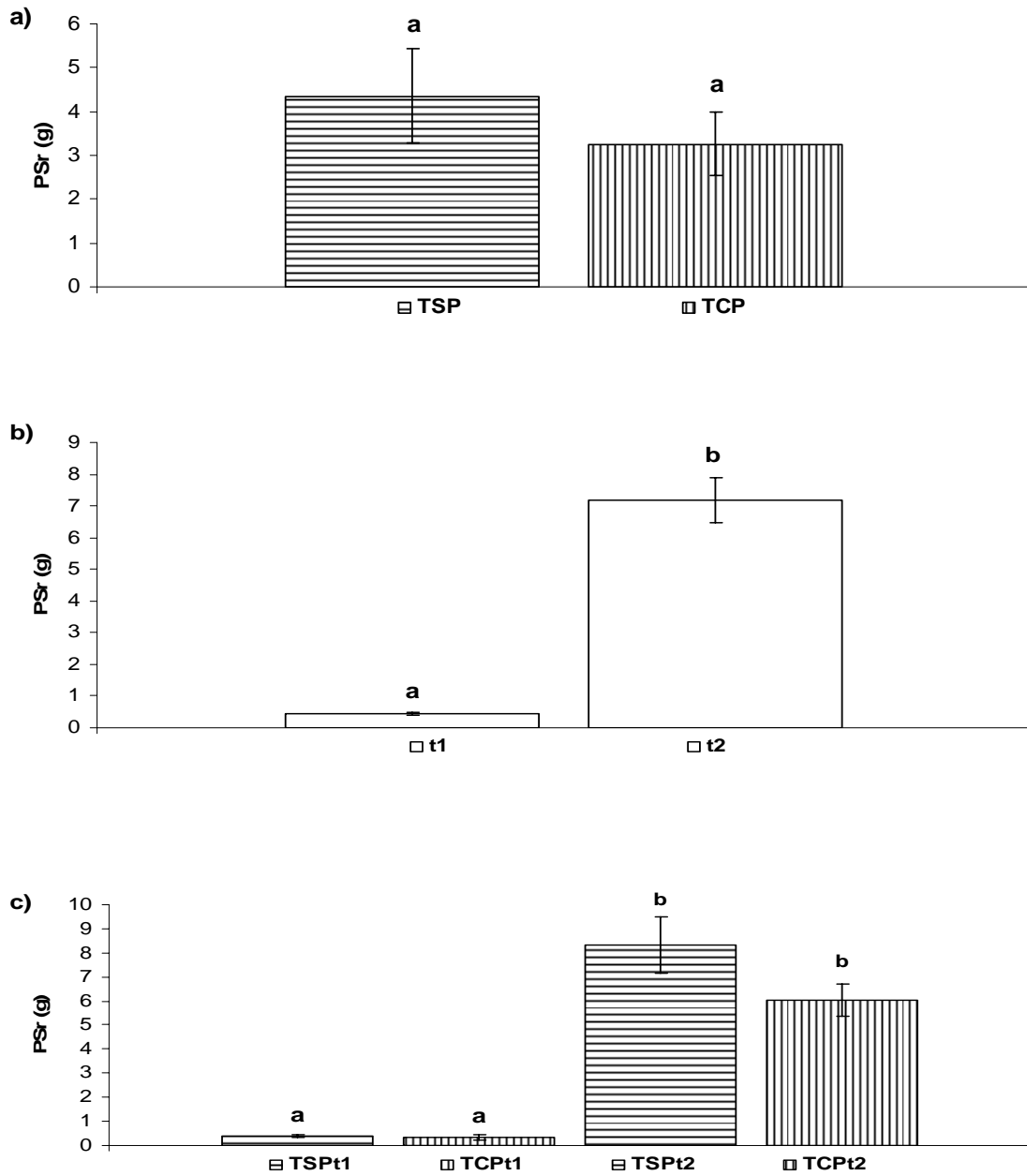


Figura 28. Peso seco promedio de raíz (PSr) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en: a) Tratamientos: sin pasto (TSP) y con pasto (TCP), b) Tiempos: inicial (t1) y final (t2) y c) Tratamiento x Tiempo: Tratamiento sin pasto tiempo inicial (TSPt1)-Tratamiento con pasto tiempo inicial (TCPt1) y Tratamiento sin pasto tiempo final (TSPt2)-Tratamiento con pasto tiempo final (TCPt2). Letras diferentes indican diferencias significativas.

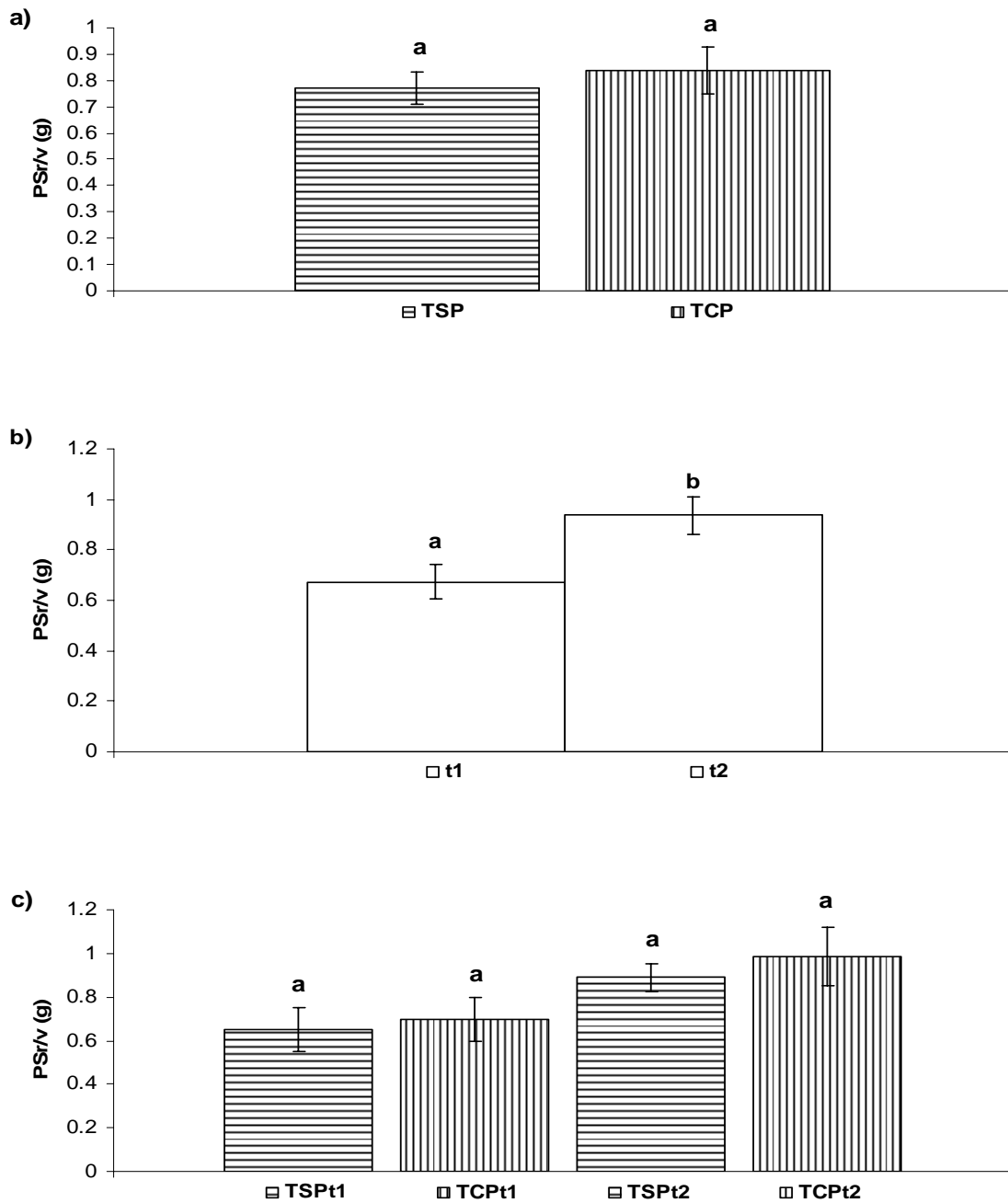


Figura 29. Peso seco promedio del cociente raíz/vástago (PSr/v) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en: a) Tratamientos: sin pasto (TSP) y con pasto (TCP), b) Tiempos: inicial (t1) y final (t2) y c) Tratamiento \times Tiempo: Tratamiento sin pasto tiempo inicial (TSPt1)-Tratamiento con pasto tiempo inicial (TCPt1) y Tratamiento sin pasto tiempo final (TSPt2)-Tratamiento con pasto tiempo final (TCPt2). Letras diferentes indican diferencias significativas.

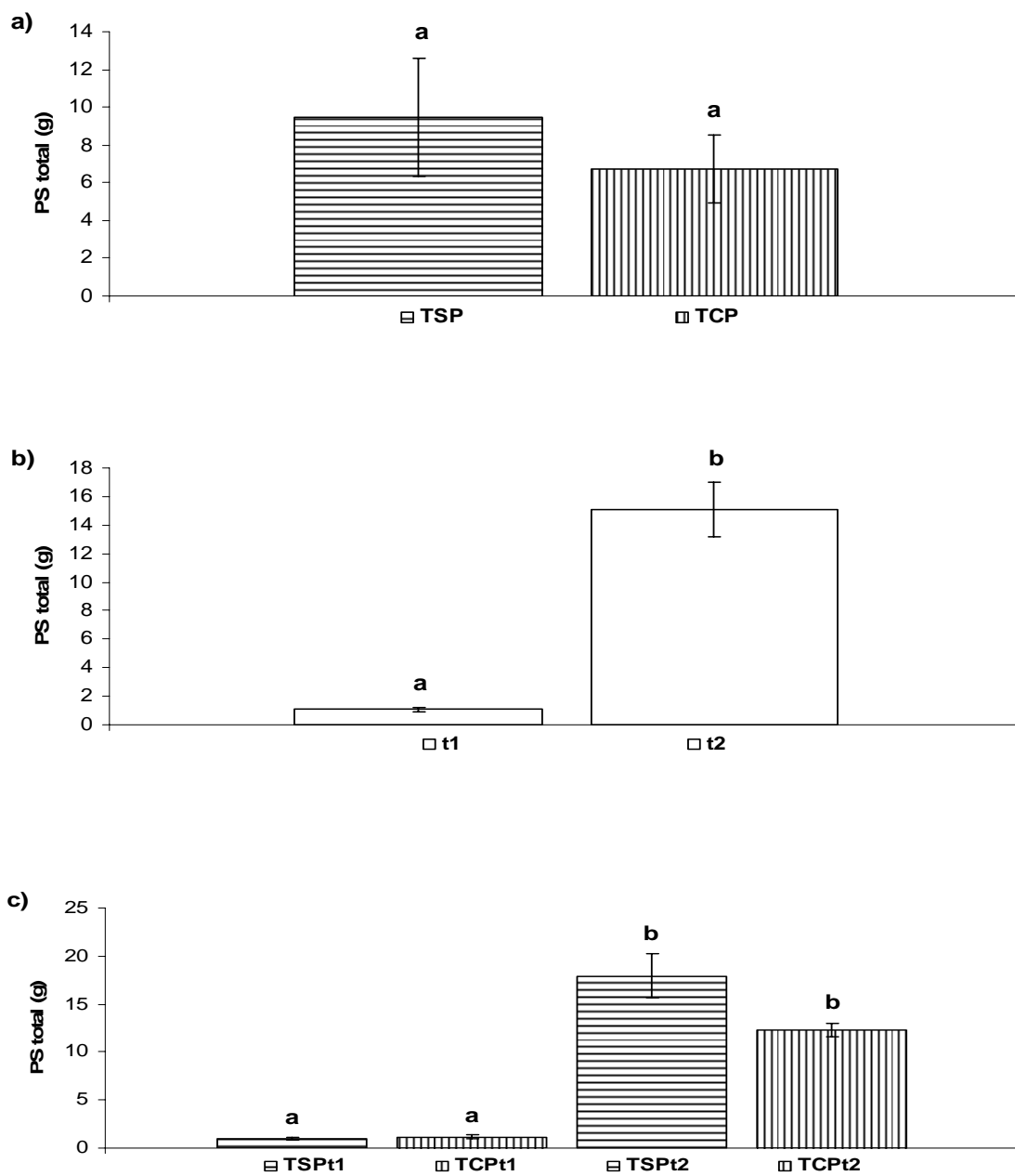


Figura 30. Peso seco promedio total (PS total) (\pm EE), de las plantas de *Laguncularia racemosa* en: a) Tratamientos: sin pasto (TSP) y con pasto (TCP), b) tiempos: inicial (t1) y final (t2) y c) Tratamiento \times Tiempo: Tratamiento sin pasto tiempo inicial (TSPt1)-Tratamiento con pasto tiempo inicial (TCPt1) y Tratamiento sin pasto tiempo final (TSPt2)-Tratamiento con pasto tiempo final (TCPt2). Letras diferentes indican diferencias significativas.

DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio ZRN Y ZR

Nivel de inundación, pH y salinidad.

Las diferencias en las condiciones fisicoquímicas de las zonas de estudio reflejan la distribución de las especies; *A. germinans* se distribuye en un lugar más alto, por consiguiente con niveles bajos de inundación y altas concentraciones de salinidad que son las condiciones que presentó la ZRN, contrariamente a la ZR donde se distribuye *Laguncularia racemosa* la cual es una zona más baja, de mayor inundación y concentraciones bajas de salinidad.

Los manglares presentan suelos extremadamente ácidos que son altamente reductores y acumulan sulfuros. Las modificaciones de la topografía y la hidrología generan cambios en la duración de la condición de anaerobiosis, lo que limita los procesos que acidifican el suelo y, por ende, los procesos de mineralización (Mitsch y Gosselink 2000).

La ZRN tiene un relieve más alto; esto se refleja en los niveles bajos de inundación, el periodo y la frecuencia de inundación (hidroperíodo) es menor, por lo que los procesos de acidificación del suelo son limitados y por ello tienden a pH ligeramente alcalinos. Por otro lado, la ZR es más baja, el periodo y frecuencia de inundación es mayor lo que se relaciona con un pH ácido.

En la ZR, las características fisicoquímicas de ambos tratamientos sin pasto y con pasto son muy similares, excepto en la temporada de sequía donde la salinidad aumenta más rápido en el tratamiento sin pasto. Esto puede deberse a que el suelo está expuesto, la luz penetra más fácilmente al no haber cobertura vegetal, por lo que la evaporación es muy rápida y la concentración de sales aumenta con mayor rapidez.

Geomorfología

Morfogénesis del relieve

El sistema fluvio - lagunar del Río Papaloapan y otros de sus afluentes, como el Río Acula, está desarrollado en la parte central de la Cuenca tectónica de Veracruz bajo un régimen de subsidencia continua, que ha determinado el desarrollo y la expansión de formaciones deltaicas acrecionarias, a lo largo de todo el Cenozoico, desde el Paleoceno hasta el presente (Hernández *et al.* en prensa). Este mecanismo ha propiciado la acumulación de potentes espesores de diversas rocas sedimentarias, algunas de ellas sin consolidación alguna, como ocurre con las actuales planicies fluviales y lacustres acumulativas de edad pleistocénica y holocénica, compuestas por aluviones (arcillas, arenas, limos), también de esa misma edad.

Perfil de las estructuras edáfico-sedimentológica y geomorfológica

La relativa proximidad entre las columnas edáficas estudiadas, permitió el trazado de un perfil generalizado (A - B) de carácter edáfico - sedimentológico, donde la fracción mecánica y el contenido de materia orgánica propiciaron la interpretación de la evolución geomorfológica de la zona y de los procesos geomórficos, que determinaron la distribución, tanto en la vertical como en la horizontal, de las deposiciones jóvenes sobre las cuales se desarrolló la formación de suelos. Con este análisis fue posible la generalización del corte sedimentario de la zona estudiada (fig.7).

Un rasgo típico de la dinámica de la sedimentación en las planicies fluviales y lacustres en grandes extensiones de humedales, es la migración meándrica del sistema fluvial y también la sepultura de los suelos lacustres y de las depresiones lagunares, motivado por las crecientes avenidas e inundaciones fluviales, sobre todo en épocas de un intenso régimen pluvial e hídrico. Estas situaciones determinan las migraciones y cubrimientos de las distintas facies sedimentarias imperantes en el territorio. Esto queda claro en el pozo 2, donde se evidencia que la columna edáfica de la Laguna La Cerca fue cubierta por deposiciones fluviales del Río Papaloapan, determinando la existencia de un suelo enterrado, sobreyacido por un suelo más joven, de condiciones menos húmedas (pozo 2, fig.7).

En tiempos anteriores a la construcción de las presas, que regulan actualmente el escurrimiento del Río Papaloapan, éste con cierta frecuencia inundaba sus planicies fluviales bajas (1 - 2) y altas (3 - 4 m), acarreando gran cantidad de azolves que se depositaron sobre las depresiones ocupadas por las planicies lacustres. En los años 1944 y 1969, el Río Papaloapan inundó gran parte del pueblo de Tlacotalpan, con niveles de hasta 2 m (Diego Cruz, comunicación personal) en la primera, y en la segunda, mantuvo al pueblo bajo el agua.

De esta manera, se aprecian dos horizontes correspondientes al suelo de origen fluvial (horizontes A y B del pozo 2), relativamente más joven, sobre dos horizontes con alta saturación de agua (horizontes A y B del pozo 1), que expresan la continuidad de la cobertura edáfica lacustre por debajo de dichos sedimentos fluviales.

Desde el punto de vista evolutivo y a la luz de los cambios climáticos y del ascenso del nivel medio del mar, en la región costera del estado veracruzano y en lo local en el caso de estudio, el desarrollo de los procesos de acreción, tanto fluvial como lacustre, será determinado por el cambio del nivel de base de los sistemas fluvio-lacustres de los ríos Papaloapan y Acula, lo que generará un intenso proceso de acumulación y colmatación de cursos bajos y sectores de planicies en el tercio inferior, muy bajo, cercano e inmediato a la costa. Este proceso pudiera culminar, en un período de varios siglos, en la inhumación de los cuerpos lacustres actuales, y por ende, en la desaparición de las comunidades vegetales asociadas a ellos (Hernández, comunicación personal).

El sitio de estudio presenta un relieve original de planicies, donde se presentan dos tipos acumulativos, las fluviales y las lacustres. Sobre la superficie de la planicie lacustre se encuentran las parcelas experimentales de regeneración natural (ZRN), donde se distribuye naturalmente *Avicennia germinans*, así como las de reforestación (ZR), donde sólo permanecen pocos árboles de *Laguncularia racemosa* debido al cambio de uso de suelo y a la introducción e invasión de *Echinochloa pyramidalis* para la actividad ganadera. Esta situación ha determinado un grado de disturbio intenso con respecto a la primera zona, la cual conserva su fisonomía natural, mientras que la segunda ha cambiado en su totalidad, de un área donde se distribuía *Laguncularia racemosa*, a un área de potreros.

Las condiciones geomorfológicas originales son favorables para el desarrollo de un ecosistema de manglar, pero debido al constante disturbio de la microtopografía local, se ha generado un relieve altamente modificado, de origen biogénico y antropogénico, remodelado por las pisadas y el peso del ganado. Esta actividad inducida por el hombre ha determinado la compactación de los suelos, generando una microtopografía caótica e irregular, tanto en el plano vertical como en el horizontal, con oquedades a diferentes niveles de profundidad, aumentando y variando la columna de agua en las microdepresiones del terreno. McKee y Faulkner (2000) mencionan que el establecimiento, la supervivencia y el crecimiento de los manglares se ven afectados por el impedimento del movimiento del agua por el cambio en la topografía.

La compactación de los suelos ha generado el aumento del nivel de la lámina de escurrimiento hídrico superficial, con el consiguiente aumento de la extensión y permanencia del agua, por el hundimiento de los sedimentos. Esta compactación aumenta el nivel de inundación y el tiempo de su permanencia.

Ante este proceso, la regeneración natural de *Laguncularia racemosa* ha sido modificada en el sitio, y aunque existe un banco de semillas, las plántulas no alcanzaron la talla adecuada para sobrepasar el nivel de inundación, imposibilitando su supervivencia, lo que se agudiza a su vez por la invasión de *E. pyramidalis*, que genera una fuerte competencia hacia los recursos como la luz, el agua y los nutrientes.

El cambio de uso de suelo, motivado por la deforestación para la introducción de *E. pyramidalis*, determinó que esta especie invadiera notablemente la zona, tanto por su capacidad de adaptación, como por la escasa competencia que existe con respecto a las plantas nativas, reducidas por el alto grado de disturbio en el área de su distribución dentro del manglar. Además, *Laguncularia racemosa* ha reducido su presencia, ya que las condiciones actuales dificultan su establecimiento, permitiendo el aumento del área ganadera. Esta situación facilita el pastoreo del ganado en zonas más bajas durante la temporada de poca precipitación o de sequía, debido al bajo nivel de la lámina de agua o a su ausencia total, ocasionando el deterioro y la pérdida del manglar.

En el estudio de reforestación se utilizó la Metodología de Encajonamiento de Riley (Riley y Salgado 1999), ya que las observaciones de campo revelaron que la microtopografía del terreno se había modificado, y por lo tanto, las condiciones

hidrológicas. Esta metodología generó un efecto positivo en la supervivencia de las plantas, siendo ésta muy alta, ya que si se hubieran sembrado a nivel del suelo, las plantas hubieran muerto por el aumento en el nivel de inundación dado por la modificación en el microrrelieve de la zona, ya que las plántulas que germinaron naturalmente en el sitio murieron al quedar sumergidas en el agua (observación personal), lo que indica y confirma la eficiencia de esta metodología para la reforestación en sitios donde existe modificación en la microtopografía del terreno y, en especial, en las zonas donde se ha introducido y extendido la ganadería.

De esta manera, queda claro que el establecimiento y la supervivencia de las plantas mediante regeneración natural es nula en el sitio de estudio, debido a la modificación de la microtopografía del sitio lo que hace que la columna de agua sea más alta en el hidroperíodo y quedando las plantas por debajo del agua.

Regeneración natural: *Avicennia germinans*.

Supervivencia

McKee (1995a) menciona que los patrones de supervivencia son significativamente afectados dependiendo de la especie y del estado de crecimiento de la planta. Observó en campo que la supervivencia de *A. germinans* fue de 25% iniciando de un estado de propágulo, 70% en estado de plántula joven (con radícula únicamente) y en estado de plántula madura (con raíz y dos hojas) un 75% a lo largo de un año. Lo anterior indica que el porcentaje de supervivencia es bajo durante la regeneración natural. Esto coincide con los datos de este trabajo, donde la supervivencia de las plántulas que iniciaron desde propágulos en el sitio de regeneración natural de *A. germinans* a lo largo de un año fue del 20%. Esta supervivencia pudo haber aumentado al estar más desarrolladas las plantas, ya que en un proyecto de restauración de los manglares de Colombia (Sánchez-Paez y Ulloa-Delgado 1999), observaron que la supervivencia de las plántulas de *A. germinans* provenientes de vivero con 124 días de desarrollo, al ser transplantadas al campo, tenían una supervivencia del 90% a lo largo de dos años.

Haciendo una comparación con otros sitios donde se estudió la regeneración natural de *Avicennia germinans*, la supervivencia de las plántulas en manglares conservados, como en la Ciénaga Grande de Santa Martha, Colombia, fue de 36% (Elster *et al.*

1999), en Panamá de 10 % (Rabinowitz 1978) y de 95% en el estuario de Wouri Douala en Camerún (Din *et al.* 2002), donde coincidió que la mortalidad fue mayor en la temporada de lluvias. McKee (1993) menciona que las observaciones en el campo de la distribución de las plántulas y los resultados de experimentos de inundaciones controladas, demuestran que la supervivencia y el crecimiento de las especies de manglares en el neotrópico varían con la profundidad y la duración de las inundaciones.

La disminución del porcentaje de la supervivencia de las plántulas a lo largo de la temporada de lluvias (junio-octubre) es más notable en el mes de octubre, e indica que esta temporada afectó negativamente a las plantas de *A. germinans* en la laguna “La Cerca”, por los niveles y la duración de la inundación, donde prácticamente en el mes de octubre las plantas permanecieron sumergidas en el agua debido a la presencia del Huracán Stan, que ocasionó niveles altos de inundación. Elster *et al.* (1999) han reportado que la inundación es una de las razones más importantes que causa mortalidad en *Avicennia germinans*, y que sólo las plantas más altas y las que están en sitios menos inundados o más altos sobreviven. Naidoo (1985) y López-Portillo y Ezcurra (1989), mencionan que *A. germinans* no es muy tolerante a las inundaciones como otras especies de mangles, como *R. mangle*. Una de las causas posibles de que la gran mayoría de las plantas no hayan soportado la inundación pudo haber sido su baja tolerancia a la inundación, a que no alcanzaron la talla adecuada para sobrepasar los niveles altos y la permanencia de la inundación que generó el Huracán Stan, aunado a una microtopografía caótica de origen biogénico, ocasionada por el pisoteo constante del ganado, generando varios niveles de inundación en una misma zona.

MacKee y Mendelsohn (1987), señalan que *A. germinans* es sensible a la anaerobiosis, y medidas realizadas de intercambio de gases en las raíces de plántulas de ésta especie, demostraron que las concentraciones de oxígeno decrecen rápidamente de un 16% a 2%, cuando las raíces se someten a condiciones anaeróbicas. Esta deficiencia de oxígeno puede afectar significativamente a las plantas de *A. germinans* solamente por la tensión a la baja de oxígeno en las raíces (McKee 1993). Stewart y Popp (1987, en Medina 1999), experimentaron bajo condiciones de inundación con plántulas de *Avicennia germinans* de seis meses de edad, determinando que se incrementa la mortalidad y se induce la actividad de la enzima

alcohol deshidrogenasa; esta enzima participa en la respiración anaeróbica. Esta respuesta bioquímica ocurre generalmente en muchas plantas sometidas a la inundación a causa de un medio anaerobio, aunque en plantas adultas este efecto es de menos importancia, porque la anaerobiosis se previene por el desarrollo de los neumatóforos.

La anoxia es acompañada generalmente por la presencia de fitotoxinas, sulfuros, hierro reducido y manganeso (Boto 1984). Youssef y Seanger (1998), investigaron los efectos de la anoxia en raíces, con o sin presencia de las fitotoxinas, de manera aislada y combinadas, sobre cinco especies de plántulas de mangle, resultando que la anoxia como tal tiene un pequeño o nulo efecto sobre las plántulas, excepto en dos especies en las cuales hubo una reducción en la asimilación de carbono. El hierro y el manganeso reducido causaron también una baja asimilación de carbono; en *Avicennia marina* y *Bruguiera gymnorhiza*, fue causado por el hierro, y en *Aegiceras corniculatum* por el manganeso, mientras que la presencia de sulfuros resultó en la completa inhibición de la fotosíntesis con el cierre total de estomas en todas las especies de plántulas estudiadas.

La poca entrada de luz al sitio de estudio pudo haber ocasionado que la supervivencia de las plantas fuera baja, ya que en estudios realizados sobre los efectos interactivos que tienen la luz y la salinidad sobre *A. germinans*, demuestran que la supervivencia se incrementa con la disposición a la luz, no importando si hay alta o baja salinidad (López-Hoffman *et al.* 2007). Rabinowitz (1978), comenta que las plántulas de los manglares son muy escasas y de corta vida en doseles muy cerrados, y en particular, las plántulas de *A. germinans* mueren muy rápido si crecen en lugares donde están establecidos árboles de su especie.

Varios estudios han observado que, en general, la supervivencia de las plántulas de manglar es más alta en áreas abiertas (claros o gaps), que en sitios cerrados (Ball 2002; Clarke y Kerrigan 2000 en López-Hoffman 2007).

VARIABLES DE CRECIMIENTO

Altura y número de hojas promedio

La altura promedio de las plántulas de *A. germinans* de la laguna “La Cerca” era de 0.18 m y cuatro hojas en promedio por planta; luego de un año su altura promedio fue de 0.67 m y de 8 hojas en promedio por planta. Toledo *et al.* (2001), mencionan que las plantas de *A. germinans* de 1-2 hojas y de menos de 0.10 m de altura que fueron recolectadas y transplantadas en la Laguna de Balandra, en Baja California Sur, México, de un sitio que fue reforestado hace dos años a otro por reforestar, después de 6 meses tenían promedios de altura de 0.13, 0.31, 0.46 y 0.62 m y un número de hojas por planta de 10, 32, 48 y 178, y después de 24 meses de 0.12, 0.18 y 0.24 m de altura y 12 y 18 número de hojas por planta. Por otro lado, la altura de las plantas de vivero de *A. germinans* de 126 días de edad en la bahía de Barbacoas del Caribe Colombiano, luego de un año de transplantadas tuvieron una altura de 0.49 m (Sánchez-Páez y Ulloa-Delgado 1999). Una de las causas de tener un menor número de hojas en comparación con otros sitios en las plantas de este estudio, pudo haber sido por que las plantas se localizaban en el sotobosque y no en lugares abiertos como las plántulas de los ejemplos anteriores, por lo que el acceso al recurso luz es limitado y su actividad fotosintética es menor comparada a la de las plantas que se localizan en lugares abiertos.

Tasa relativa de crecimiento en altura promedio (TRCa) y Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh).

En la temporada de lluvias (julio a octubre) las plántulas de *Avicennia germinans* presentaron tasas de crecimiento en altura (TRCa) y de incremento en hojas (TRlh) mayores que en la temporada de secas de (noviembre a junio). Elster *et al.* (1999), mencionan que esta temporada es donde se observa mayor crecimiento en plántulas de esta especie y menor en la temporada de sequía, y sólo las plántulas que crecieron en lugares menos inundados y las plantas más altas pudieron sobrevivir.

Las TRlh negativas que se presentaron en el mes de octubre pudieron haber sido por pérdida de hojas en la inundación, ya que las plántulas se mantuvieron sumergidas. Otra razón pudo ser efecto de la gran cantidad de arácnidos que protegen sus huevos

enrollándolos en las hojas (obs. pers.); en los meses de febrero y marzo la pérdida de hojas pudo haber sido por la sequía, lo cual evita a la planta pérdidas por evapotranspiración.

McKee (1996), estudió la respuestas fisiológicas dadas por la hipoxia de las plántulas de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, observando que la hipoxia en las raíces conduce a una disminución de las tasas de respiración y de extensión en raíces, en *A. germinans* y *L. racemosa*, pero no en *R. mangle*. Las plántulas de las tres especies muestran un pequeño cambio en la asimilación neta de carbono en respuesta a las bajas concentraciones de oxígeno, sugiriendo que el balance entre la adquisición y la pérdida de carbono por la respiración de raíces es mantenida durante condiciones de hipoxia.

Otro factor importante que pudo haber afectado el crecimiento de las plantas de *Avicennia germinans* fue la salinidad intersticial de los sedimentos, que fue en aumento a partir de la temporada de secas (marzo abril y mayo), en la cual alcanzó valores de 65 ‰. En suelos salinos el potencial hídrico es bajo y el ingreso del agua a las raíces se ve severamente limitado; en tales condiciones la mayoría de las plantas presentan una acumulación de grandes concentraciones de solutos, lo cual les permite mantener el ingreso del agua a las raíces a favor del gradiente del potencial hídrico.

Las plántulas de *A. germinans* acumulan solutos en sus vacuolas en condiciones de estrés salino (Suárez *et al.* 1998). Este proceso incrementa la capacidad de obtener agua y el mantenimiento de la turgencia de las hojas y la disminución del potencial hídrico. La tolerancia al déficit de agua puede explicarse por el incremento de la concentración de solutos a nivel intracelular y el resultado es que decrece el potencial osmótico, lo que permite que el potencial de agua del xilema baje sustancialmente por debajo del agua de mar y mantiene positivo la absorción de agua por las raíces (Scholander 1968).

Suárez y Medina (2005), observaron que los parámetros de crecimiento en *A. germinans* fueron significativamente afectados por la salinidad. La biomasa seca total y de hojas así como el número de hojas, disminuyeron cuando la salinidad aumentó, en cambio cuando la salinidad fue cero, baja u óptima incrementaron dichos parámetros de crecimiento. Suárez *et al.* (1998), reportan que las hojas de las plántulas de *A.*

germinans se adaptan a suelos hipersalinos, incrementando la concentración de solutos y la elasticidad de la célula. Estos procesos permiten el acceso al agua y la manutención de la turgencia a un largo rango de potencial hídrico del suelo. Por lo tanto, el régimen de temporalidad estacional genera condiciones que afectan al crecimiento de las plántulas de *A. germinans*, la inundación, la temperatura y las cantidades de sal en sedimentos.

El dosel del manglar donde se establecieron las plántulas de *A. germinans* era muy cerrado, por lo que las plantas destinaron mayor cantidad de recursos para desarrollar el tallo, ya que la altura tiene consecuencias importantes para la captura de la fuente de luz.

En manglares de Belice la asignación de biomasa en plántulas de *R. mangle* y *A. germinans* fue mayor hacia tallo y raíces en las zonas bajas (niveles altos de inundación) que en las zonas intermedias. Sin embargo, *R. mangle* se desarrolló mejor en zonas más bajas y *A. germinans* en zonas intermedias (Ellison y Farnsworth 1993).

Reforestación: *Laguncularia racemosa*

Supervivencia

La supervivencia de las plántulas de *Laguncularia racemosa* no se vio afectada por la presencia u ausencia de los pastos, ya que las plántulas tuvieron una supervivencia de casi un 90%, en ambos tratamientos.

Trabajos de plantaciones utilizando el método de encajonamiento de Riley (MER) con *Laguncularia racemosa*, no se encuentran en la literatura científica. Solamente Riley y Salgado (1999), mencionan que hubo un buen establecimiento de las plantas de *L. racemosa* y que la expansión de sus raíces rompieron el tubo después de un año. Sin embargo, los resultados de estas plantaciones sólo son cualitativos.

Salgado y Lin (1999), utilizaron la metodología encajonamiento de Riley y otras variables de esta técnica, como la utilización de bambú en lugar del PVC, en la Laguna India del Río, en Florida, y utilizando propágulos de *Rhizophora mangle*. Los sembrados en tubos de PVC presentaron una supervivencia del 76%, mientras que con el bambú fue de 0%; señalan lo que causó la muerte en los propágulos fue lo poco

traslucido del material, lo que ocasionó que no penetrara la luz. Sin embargo, en la reforestación de la laguna “La Cerca”, como sólo se utilizó la metodología para elevar a las plántulas del nivel del suelo, ya que las plantas tenían tres meses de edad, no necesitaban lo translucido del material, sino solo la elevación; el material de bambú pudo haber sido eficiente evitando el uso de PVC que es un material no biodegradable, por lo que dicha metodología es fuertemente cuestionada (Flores-Verdugo *et al.* 2007).

La inundación es uno de los factores que afectan negativamente a la supervivencia de las plántulas de *Laguncularia racemosa*. Muchas de las plántulas mueren durante la temporada de lluvias, cuando el nivel de agua es alto y las plántulas permanecen sumergidas (Elster *et al.* 1999). La reforestación con la MER en este estudio, evitó que la inundación mantuviera a las plantas sumergidas, permitiendo que sobrevivieran a la temporada de lluvias y que disminuyera la mortalidad.

La regeneración natural de *L. racemosa* no se presentó en los sitios de reforestación, y aunque hay presencia de drupas y se observó germinación de éstas, no hay establecimiento de las plántulas, ya que quedan sumergidas en el agua y en sitios donde hay pasto éste las cubre totalmente (obs. per.).

Una de las recomendaciones que hace la MER es que es preferible usar propágulos en lugar de plántulas, ya que éstas no se adaptan a las condiciones del ambiente muy fácilmente y presentan niveles altos de necrosis cuando son transplantadas; en éste trabajo se utilizaron plántulas de invernadero de tres meses de edad y se aclimataron previamente y no presentaron problemas de adaptación al medio al que fueron transplantadas, alcanzando la altura necesaria para sobrepasar los niveles de inundación.

VARIABLES DE CRECIMIENTO

Tasas relativas de crecimiento en altura promedio (TRCa) y Tasa relativa de incremento en número de hojas promedio (TRlh).

Las tasas relativas de crecimiento en altura y de incremento en hojas siempre fueron mayores en el tratamiento sin pasto (TSP), que en el tratamiento con pasto (TCP). Esto indica que el pasto sí tiene un efecto sobre el crecimiento de las plántulas de *L. racemosa*, por lo que las plántulas del tratamiento sin pasto tienen ventaja al no tener

una competencia por los recursos y, por lo tanto, son plantas que tienen mayor facilidad para crecer.

Las velocidades de crecimiento de las plantas observadas mediante las TRCa y TRlh, se comportaron de manera inversa de acuerdo a la estacionalidad. Mientras que en la temporada de lluvias las plantas reflejaron una velocidad rápida de crecimiento en altura y un bajo incremento en hojas, en la temporada de sequía se comportaron contrariamente, ya las plantas tuvieron un alto incremento en hojas y una velocidad muy lenta en el incremento en altura; también la temporada de invierno fue un periodo de bajo crecimiento en altura y en hojas para las plantas.

En el sur de Florida esta especie es reconocida como estacional en su desarrollo, en los meses de primavera con brotes y ramificaciones pero con un periodo largo de inactividad en los meses de invierno (Tomlinson 1986). Es importante mencionar que en la temporada de sequía, las plantas empezaron a desarrollar ramificaciones laterales, por lo que la altura no siguió aumentando, pero responde al incremento en la TRlh.

La temporada de lluvias influye de mayor forma en el crecimiento en altura en las plantas y la temporada de secas influye más en el incremento en el número de hojas. Esta diferencia del crecimiento de la parte aérea de las plantas (hojas-tallo) propicia la captura de luz para la realización de la fotosíntesis, fijando carbono seguramente utilizándolo como fuente de energía. La elongación de las ramas y la altura es una estrategia de las plantas para incrementar la captura de luz por medio de la parte aérea (hojas y tallo) (Cadlweil 1987, Schulze y Chapin 1987, en Cardona-Olarte 2006).

En la temporada de lluvias (octubre) las diferencias en las TRCa y TRlh en los distintos tratamientos no fueron significativas, ni en la temporada invierno (de noviembre a febrero) excepto en el mes de diciembre, donde hay una diferencia significativa en la TRCa; también en el mes de febrero hay diferencias significativas en la TRlh.

En la temporada de sequía (marzo abril y mayo) es donde las diferencias en las TRCa y TRlh son significativas entre ambos tratamientos, obteniendo mayores tasas el TSP, lo implica que la competencia entre las plántulas de *L. racemosa* y *Echinochloa pyramidalis*, tiene un efecto significativo en el crecimiento de las plantas de *L. racemosa* en la temporada de secas, reflejándose en las tasas menores de crecimiento

tanto de altura así como en el incremento en hojas de las plantas en el TCP. Esto puede deberse a que *E. pyramidalis* al ser una especie invasora tiene una mayor capacidad de competencia por los recursos que *L. racemosa*. *Echinochloa pyramidalis* es una especie alóctona de origen africano, que fue introducida para actividades agrícolas (López Rosas 2007), las cuales se han extendido a las zonas de manglar por el cambio de uso de suelo hacia pastizales, convirtiéndose este pasto en una planta invasora. Este trabajo demuestra que la especie de pasto (*Echinochloa pyramidalis*) tiene un efecto negativo en el crecimiento de las plantas de *L. racemosa* ya que los pastos invasores son competidores efectivos de la fuente de recursos tales como, luz, agua y nutrientes (D'Antonio y Vitousek 1992).

Las plantas del TCP permanecieron bajo el dosel de los pastos, lo que pudo haber ocasionado que éste interceptara la luz, reduciendo la capacidad fotosintética lo que produjo un limitado crecimiento de las plantas, aunque se ha observado que *Laguncularia racemosa* es una especie pionera en sitios con disturbios (Tomlinson 1986). Bush *et al.* (1987, en D'Antonio y Vitousek 1992), mencionan que los pastos invasores en Texas, reducen las tasas de crecimiento de plántulas de especies forestales, ya que reducen la disponibilidad de luz.

La salinidad en el sitio de estudio no es alta, de acuerdo con los límites que tienen las especies. McKee (1995a), en sus experimentos de cultivo de manglares a diferentes concentraciones de sal, indicó que los límites de salinidad para *A. germinans* y *L. racemosa* fueron de 100‰ y 80‰, respectivamente, y Jiménez (1984), dice que *A. germinans* crece como arbusto cuando la salinidad en suelos tiene un valor de 60-80‰ y *L. racemosa* alrededor de 80‰. La salinidad que se registró en este trabajo es de 40‰ en el TSP y de 16‰ en el TCP en la temporada más seca (mayo), y de 65‰ en el sitio de regeneración natural, por lo que *A. germinans* también permaneció bajo condiciones de salinidad a la cual es tolerante. Ello indica que la salinidad no tuvo un efecto negativo en las plantas. Por otro lado, se sabe que las especies de manglar son más tolerantes a la salinidad, pero sus funciones las realizan con menos transporte de agua, por lo que se puede relacionar con un uso eficiente del agua (Sobrado 2000).

Peso seco

No hubo diferencias en peso seco en las variables de crecimiento, aunque si hubo una diferencia significativa en cuanto al peso seco de hojas en la cosecha final (TSPt2 y TCPt2) respondiendo a una producción de hojas mayor, en ausencia de pastos. El hecho de que las plantas en el TSP hayan tenido mayor peso seco en hojas, pudo haber sido ocasionado por la disminución de la humedad en suelo y, por consiguiente, el aumento de salinidad fue más rápido en este sitio, por estar el suelo expuesto. Las plantas de *Laguncularia racemosa* no presentan glándulas excretoras de sal, entonces la estrategia para acceder al recurso agua o para conservarla en sus tejidos, es acumular sales en sus hojas para mantener más bajo éste que el potencial que presenta el suelo. Popp *et al.* (1993) encontraron que el contenido de sales por unidad de área foliar está altamente correlacionado con el contenido de agua por unidad de área foliar en especies de árboles no excretoras de sal (*R. mangle*, *L. racemosa* y *C. erectus*), mientras que en *A. germinans* no se encontró dicha correlación.

En el predio de la laguna La Cerca, se ha introducido a lo largo del tiempo el pasto *Echinochloa pyramidalis* como fuente de forraje para alimentar al ganado. Este pasto es resistente a la salinidad, a la inundación y se disemina muy fácilmente. La actividad ganadera mueve el ganado de las planicies altas a las bajas en la temporada de sequía, ya que éstas últimas permanecen húmedas favoreciendo el crecimiento del pasto y obteniendo un buen forraje, el que se vuelve escaso en las planicies altas en esta temporada. Para tener esa doble condición se han transformado zonas de manglar en pastizales. El sitio de distribución de *Laguncularia racemosa* en la zona de estudio, ha presentado un cambio de usos de suelo hacia pastizal, además de ser una especie sobreexplotada para la utilización de su madera para postes de las cercas de los potreros, construcción de vivienda y para uso de carbón.

El cambio de uso de suelo ha generado condiciones ambientales diferentes que evitan que la regeneración natural sea exitosa, ya que el pisoteo constante del ganado ha ocasionado el hundimiento del suelo y, por ende, mayor inundación en el sitio, lo que sólo permite que las semillas germinen, pero que las plántulas no sobrevivan, ya que no alcanzan la talla adecuada en la época de lluvias y quedan sumergidas. Kogo *et al.* (1987), mencionan que la revegetación históricamente ha sido difícil en áreas de

manglar donde el hábitat ha sido destruido y las condiciones ambientales han sido cambiadas.

Para la rehabilitación de los manglares en lugares donde éstos son nativos, las especies exóticas no son un serio problema, porque las especies de manglares son colonizadoras hábiles que pueden crecer generalmente, mientras siga habiendo la condición en el sitio dentro de su gama de la tolerancia (Lugo 1998). Sin embargo, el sitio de estudio se ha modificado, así como su microtopografía y la composición de las plantas, lo que ha generado una invasión de *Echinochloa pyramidalis* hacia la zona de manglar.

CONCLUSIONES

- La metodología de encajonamiento Riley (MER) es un método eficiente para la reforestación, establecimiento y supervivencia de *Laguncularia racemosa*, sembrando plantas de un estado juvenil (plántula), en manglares de cuenca donde la topografía e hidrología ha sido modificada por causa de las actividades ganaderas y por la invasión de pastos.
- La presencia de los pastos sí tiene un efecto negativo en el crecimiento, pero no en la supervivencia de las plantas de *L. racemosa*. Por lo anterior, la mejor estrategia para que las plantas tengan un mayor y rápido crecimiento en una reforestación sería la eliminación del pasto; esto conlleva a mayores costos por el trabajo de mano de obra para dicha eliminación. Por consiguiente, se podría hacer la reforestación en presencia de los pastos con el conocimiento que las plantas tendrán menor crecimiento, donde en ambos casos la supervivencia no será afectada.
- La diferenciación en el crecimiento de las plantas entre tratamientos con pasto y sin pasto, a lo largo de un año, se refleja en las variables de crecimiento, tales como las tasas relativas de crecimiento en hojas y en tallo y en pesos seco total de cada tratamiento, ya que el peso seco de las diferentes estructuras de la planta, en particular, no muestran ninguna diferencia, excepto en el peso seco de hojas.

Propuesta de Restauración.

Condición Actual

En la Zona de Regeneración Natural (ZRN) donde se distribuye *Avicennia germinans* las condiciones físicas como la microtopografía y la hidrología no se han modificado, por lo que sólo se debe facilitar su regeneración mediante la protección de la zona evitando el avance de la actividad ganadera, aislándola por medio de una cerca para evitar la entrada del ganado para que pueda restablecerse la vegetación. Por otro lado, la Zona de reforestación (ZR) donde se distribuye *Laguncularia racemosa* se caracteriza por ser un área perturbada, debido a que la ganadería es una de las principales actividades económicas de la región; de hecho, en el estado de Veracruz el 42.6% de su superficie es ganadera (SAGARPA 2002, en Travieso-Bello, *et al.* 2005). Este cambio de uso de suelo del ecosistema de manglar hacia potreros ha aumentado el área ganadera con la incorporación de origen africano *Echinochloa pyramidalis* (pasto alemán). Además, la madera de *Laguncularia racemosa* se emplea para leña y la construcción de cercas para los potreros.

Estas actividades y modificaciones del uso de suelo, han modificado la microtopografía por el pisado constante de la masa ganadera que deriva en mayor compactación de suelo y como consecuencia, cambios en la hidrología del sitio que se ven reflejados con el aumento de los niveles de la columna de agua. Estas condiciones hacen que el proceso de regeneración natural sea prácticamente nulo, debido a que las nuevas condiciones no permiten su establecimiento, ya que aunque el banco de semillas exista y las semillas germinen, éstas no alcanzan la talla adecuada para sobrepasar el nivel de agua en la temporada de lluvias que presenta ahora este sitio.

Se propone para la ZR una reforestación, que en primer lugar se evite la entrada del ganado cercando el sitio. Posteriormente, la siembra se debe hacer utilizando la Metodología de Encajonamiento de Riley (MER, Riley y Salgado 1999), con la precaución de retirar los tubos de PVC cuando las plantas ya estén establecidas o en su caso utilizar tubos de bambú que es un material biodegradable. Se recomienda para la siembra plantas de vivero de una talla de 30 cm de altura y con cuatro hojas aproximadamente (tres meses de edad); la elevación de la planta respecto al terreno

debe de ser aproximadamente de 30 cm, y las plantas se deben sembrar intercaladamente dejando 70 cm de distancia entre planta y planta. El nivel de levantamiento dependerá de la microtopografía del sitio ya que de eso depende el hidroperíodo y también los niveles de la columna de agua.

La zona, como ya se sabe, está invadida por pastos forrajeros, los cuales se recomienda arrancarlos de raíz, ya que tiene un efecto negativo en el crecimiento de plantas. No obstante si no se cuenta con recursos para cubrir la mano de obra para limpiar el área, se pueden sembrar las plantas directamente sin eliminar el pasto, tomando en cuenta, que en este último caso, el crecimiento será menor y más lento, empero, en ambos casos se garantiza la supervivencia de las plantas. La erradicación de los pastos puede ser a largo plazo, cuando las plantas de manglar se establezcan y se desarrollen formando un dosel que genere mayor sombra en el sitio evitando el desarrollo incontrolado de los pastos.

Como ya se ha descrito en la metodología, las actividades deben iniciarse al comienzo de la temporada de lluvias en los meses de julio y agosto. De las variables analizadas en el periodo de un año se recomienda tomar en cuenta las tasas relativas de crecimiento de tallo e incremento en el número de hojas, así como el peso seco total. El monitoreo y la medición se plantea para cada mes.

Esta estrategia de reforestación requiere de otros factores muy importantes a tomar en cuenta, uno de ellos es conocer la microtopografía y el hidroperíodo del sitio a reforestar, esto permitirá una mayor planeación de los sitios a reforestar, una mayor información para el levantamiento o elevación exacta de las plantas y además situar los lugares donde no hay posibilidades de que las plantas sobrevivan por cuestiones de mal funcionamiento hidrológico. Antes de todo se deberá corregir la disfunción hidrológica lo que permitirá y facilitará el establecimiento y desarrollo de las plantas a reforestar.

Otro factor importante es el conocimiento de las características fisiológicas de cada especie de mangle, ya que esto permitirá conocer las características ambientales físicas y químicas a las que están adaptadas cada una de estas especies y así plantarlas en el sitio adecuado para que su establecimiento sea exitoso y puedan desarrollarse adecuadamente.

Costo de las parcelas experimentales

En las parcelas experimentales se utilizó una tecnología de reforestación que permite el establecimiento de plántulas de mangle (*Rhizophora mangle*) situadas en la zona de costa con alta energía de oleaje MER (Riley y Salgado 1999). Esta tecnología se acopló a una zona de baja energía de oleaje (manglar de cuenca) utilizando otra especie de mangle *L. racemosa*, generando una metodología específica a nivel local para la reforestación con plántulas en sitios donde hay un daño en el microrrelieve por hundimientos causados por el pisoteo del ganado, lo que repercute en el hidroperíodo y en los niveles de la columna de agua, además de la invasión de pastos africanos inducidos por las actividades ganaderas. Esta tecnología se utilizó para levantar nivel del suelo para que las plantas de *laguncularia racemosa* pudieran establecerse sin quedar por debajo del agua.

El costo de las parcelas experimentales de reforestación realizadas en un área de 900 m² en dicho trabajo fue de \$9,757.50, esto sin incluir viáticos, las plantas de vivero que fue una donación, los postes de madera que fueron utilizados del mismo predio y los aparatos de medición y análisis de muestras que fueron proporcionados por la Universidad Nacional Autónoma de México (cuadro 6). La extrapolación a una hectárea sería de \$102, 212.50 (cuadro 7).

La aplicación de esta tecnología acoplada a lo local permitirá tener una mayor certidumbre del éxito de una iniciación de una restauración ecológica, en donde se quiera reconvertir zonas de potreros a zonas de manglar mediante la estrategia de reforestación.

Cabe señalar que los costos no serían los mismos para una reforestación, ya que en ésta se utilizaría la tecnología acoplada a lo local de las parcelas experimentales como el método para una reforestación con un alto porcentaje de supervivencia de las plantas. El monitoreo sólo se basaría en medir la supervivencia en general y no sería tan minucioso como en la parcela experimental disminuyendo el costo de la mano de obra, y aunque se midiera también la altura y número de hojas esto sería sólo en algunos cuadrantes que se destinarían para estas mediciones.

Es necesaria e importante de antemano la realización de parcelas experimentales donde se prueben las tecnologías ya existentes y se acoplen a las necesidades locales

o generar nuevas tecnologías, ya que esto permite tener un conocimiento previo del uso de una metodología adecuada y exitosa de reforestación, siendo la base técnica de una reforestación a gran escala con certidumbre de éxito. Aunque puede parecer un gasto considerable en un inicio una parcela de experimentación, este conocimiento evitará y disminuirá gastos innecesarios en las posteriores reforestaciones y aumentará la certeza de ser exitosa.

Cuadro 6. Costos de una parcela experimental de reforestación de *L. racemosa* para 900 m².

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO Moneda Nacional (\$)	SUBTOTAL (\$)
Alambre de púas	Rollo	1	500.00	500.00
Grapas	kilo	0.5	30.00	15.00
Machete	Pieza	2	60.00	120.00
Guantes carnaza	Pieza	2	80.00	160.00
Guantes algodón	Pieza	2	30.00	60.00
Palas	Pieza	2	90.00	180.00
Tubo PVC (6 mts)	Pieza	12.5	45.00	562.50
Seguetas	Pieza	3	20.00	60.00
Arco p/seguela	Pieza	1	100.00	100.00
Mano de obra (plantación y medición)	jornales	80	100.00	8,000.00
Total				9,757.50

Cuadro 7. Costos de las actividades de mano de obra en la parcela experimental de reforestación de *L. racemosa* para 900 m².

Actividad de mano de obra	meses	Persona	día	Jornales	Costo Jornales (\$)	Total (\$)	
Terreno	Preparación						
	Postear	1	3	3	9	100.00	900.00
	Cercar	1	3	2	6	100.00	600.00
	Limpiar	1	3	2	6	100.00	600.00
siembra	Preparación	1	3	3	9	100.00	900.00
	Plantación	1	5	2	10	100.00	1,000.00
	Medición	10	2	2	40	100.00	4,000.00
Total		19	14	80	600.00	8,000.00	

Cuadro 8. Costos de una parcela experimental de reforestación de *L. racemosa* para una hectárea.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO Moneda Nacional (\$)	SUBTOTAL (\$)
Alambre de púas	Rollo	11.00	500.00	5,500.00
Grapas	kilo	5.50	30.00	165.00
Machete	Pieza	6.00	60.00	360.00
Guantes carnaza	Pieza	6.00	80.00	480.00
Guantes algodón	Pieza	6.00	30.00	180.00
Palas	Pieza	6.00	90.00	540.00
Tubo PVC (6 mts)	Pieza	137.50	45.00	6,187.50
Seguetas	Pieza	15.00	20.00	300.00
Arco p/seguenta	Pieza	5.00	100.00	500.00
Mano de obra (plantación y medición)	jornales	880.00	100.00	88,000.00
Total				102,212.50

Cabe destacar que en la presente propuesta, si bien la base técnica descrita de manera concisa en los párrafos anteriores, es el fundamento principal para las actividades de reforestación que contribuyen a la recuperación de dicho ecosistema en la zona de estudio, para establecer una estrategia integral de restauración ecológica; a esto debe de incorporarse una estrategia más amplia que involucre los siguientes aspectos:

- Procesos de sensibilización con los habitantes de la región y operadores locales de las instituciones públicas de los tres niveles de gobierno,
- Estrategia de divulgación e información sobre la importancia ecológica, biológica y económica del ecosistema de manglar, su conservación y manejo sustentable,
- Identificación de oportunidades económico-productivas del ecosistema dirigida a la diversificación de las actividades agropecuarias en la región,
- Conocimiento del marco legal en la materia, así como de la oferta institucional de programas,
- Identificación de fuentes de financiamiento para el manejo sustentable de los manglares.

No es un camino fácil, pero para que las parcelas experimentales de trabajo científico transiten a estrategias tangibles deben inscribirse en la realidad cotidiana de los

habitantes y propietarios de la tierra, que en el mediano y largo plazos permitan y demuestren que la conservación y el manejo sustentable de los recursos presentes en el ecosistema de manglar, pueden ser una forma de vida que mejore la calidad de vida de los pobladores y mantenga la funcionalidad de dichos ecosistemas.

LITERATURA CITADA

- Acharya, G. 2002. Life at the margins: the social, economic and ecological importance of mangroves. En: Dávalos Sotelo, R. (Ed.) *Maderas y Bosques* número especial 1:53-60.
- Babier, E.B.A y Knowler, D. 1997. Valoración económica de los humedales. Guía para los tomadores de decisiones y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar. Universidad de York. Instituto de Hidrología. UICN-Unión Mundial para la Naturaleza. Gland Suiza.
- Ball, M.C. 1998. Ecophysiology of mangroves. *Trees* 2:129-142.
- Blasco, F. 1984. Climatic factors and the biology of mangrove plants. In: Snedaker, S.C. y Snedaker J.G. (Eds.). *The mangrove ecosystem: research methods*. UNESCO, Paris, pp. 18-35.
- Boto, K.G. 1984. Waterlogged saline soil. en: Snedaker, S.C. y Snedaker, J.G. (Eds.). *The mangroves ecosystems: research methods*. UNESCO, Paris, pp. 114-130.
- Bouyoucos, G.J. 1936. Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer methods. *Soil Science* 42:255-258.
- Cardona-Olarte, P., Twilley, R.R., Krauss, K.W. y Rivera-Monroy, V. 2006. Responses of neotropical mangrove seedlings grown in monoculture and mixed culture under treatments of hydroperiod and salinity. *Hydrobiologia* 569:325-341.
- Carey, G. 1934. Further investigations on the embryology of viviparous seeds. *Proceeding of the Linnean Society New South Wales* 59:392-410.
- Collins, S.L., Knapp, A.K, Briggs, J.M, Blair, J.M. y Steinauer, E.M. (1998) Modulation of diversity by grazing and mowing in native tallgrass prairie. *Science* 280:745-747.
- Christensen, B. 1983. Manglares: ¿Para qué sirven? *Unasyuva*. 35: (139).

- Consejo de Recursos Mineros. 1994. Monografía geológico - minera del Estado de Veracruz. México, D. F. pp. 123.
- Dalton, P y Novelo R , A. 1983. Aquatic and wetland plants of the Arnold Arboretum. *Arnoldia* 43(2):7-44.
- D'Antonio, C.M. y Vitousek, P.M.1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics* **23**:63-87.
- Dawes, C.J. 1986. Botánica Marina. Ed. Limusa. Universidad del Sur de Florida. pp. 253-277.
- Din, N., Priso, R.J., Kenne, M., Ngollo, D.E. y Blasco, F. 2002. Early growth stages and natural regeneration of *Avicennia germinans* (L.) stearn in the Wouri estuarine mangroves (Douala-Cameroon). *Wetlands Ecology and Management* **10**:461-472.
- Duke, N.C., Ball, M.C. y Ellison, J.C. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradient in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters* **7**:27-47.
- Elster, C., Perdomo, L. y Schnetter, M.L.1999. Impact of ecological factors on the regeneration of mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Hydrobiologia* **413**:35-46.
- Elster, C. 2000. Reasons for reforestations success and failure with three mangrove species in Colombia. *Forest Ecology and Management* **13**:201-214.
- Ellison, A.M. y Farnsworth, E.J. 1993. Seedling survivorship, growth, and response to disturbance in Belizean mangal. *American Journal of Botany* **80(10)**:1137-1145.
- Ellison, A.M. 2000. Mangrove restoration: do we know enough? *Restoration Ecology* **8**:219-229.
- Enciso, A. 22 de octubre 2007. Apremian ONG a catalogar mangles entre especies en riesgo de extinción. Diario La Jornada.

- Field, C.D. 1998a. Rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. *Marine Pollution Bulletin* **37(8-12)**: 383-392.
- Field, C.D. 1998b. Rationales and practices of mangrove afforestation. *Marine Freshwater Research* **49**:353-358.
- Flores-Verdugo, F., Moreno-Casasola, P. Agraz, H.C.M., López, R.H., Benítez-Pardo, D. y Travieso-Bello, A.C. 2007. La topografía y el hidroperíodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **80 (suplemento)**: 33-47.
- García, E. 1990a. *Clima*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.10 - A.
- García, E. 1990b. *Regiones climáticas*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.10 - B.
- Hernández, C.M.E. 1990. *Evaporación*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.9 - A.
- Hernández, S.J.R., Méndez Linares A.P., J.M. y Figueroa M.E. (en prensa). Caracterización del relieve plio-cuaternario del entorno costero del Estado de Veracruz, México. *Cuaternario y Geomorfología*, Salamanca, 25 p.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional Approach to plant growth analysis. Edward Arnold. pp. 248.
- INEGI. 1984. *Carta de uso de suelo y vegetación, Carta Hidrológica de aguas superficiales, Carta edafológica, Carta geológica*. Coatzacoalcos E15 1-4 1:250 000.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México.
- Jiménez, J.A. 1984. A hypothesis to explain the reduce distribution of the mangrove *Pelliciera rhizophorae* Tr. & Pl. *Biotropica* **16**:304-308.
- Jiménez, R.A. y Maderey, R.L.E. 1990. Ecurrimiento medio anual. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.6.4 - A.

Kogo, M., Kamimura, D. y Miyagi, T. 1987. Research for rehabilitation/reforestation of mangroves in Truk Island. pp. 419-439. En: UNDP/UNESCO Regional Mangrove Project RAA/79/002 Mangroves of Asia and the Pacific: Status and Management.

Linding-Cisneros, R. y Zedler, J.B. 2005. *La restauración de humedales*. En Sánchez, O., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdés, M. y Azuara, D. (Eds.). *Temas sobre la restauración ecológica*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service y Unidos para la Conservación, A.C. pp. 201 -213.

López, G.J. 1990. *Unidades taxonómicas de suelos*. En Atlas Nacional de México. (Ed.) Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.7.1.

López-Hoffman, L., Anten, N.P.R., Martínez-Ramos, M. y Ackerly, D.D. 2007. Salinity and light interactively affect neotropical mangrove seedlings at the leaf and whole plants levels. *Oecologia* **150 (4)**: 545-556.

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

López-Portillo, J. y Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. En: Dávalos Sotelo, R. (Ed.). *Maderas y Bosques*. Número Especial. **1**:27-51. Instituto de Ecología A. C. Jalapa, Veracruz.

López Rosas, Hugo, Moreno Casasola, P. y Mendelssohn, I. A. 2005. Effects of an African grass invasion on vegetation, soil and interstitial water characteristics in a tropical freshwater marsh in La Mancha, Veracruz (México). *Journal of Plant Interactions* **1(3)**:187-195.

Lot-Helgueras, A., Vázquez-Yañes, C. y Menéndez, L.F. 1975. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gula COSAT of Mexico. En: Walsh, G.E., Snedaker y Teas, H. (Eds.). Proceedings of the international symposium on the biology and management of mangrove. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, Gainesville. pp. 52-62.

- Lot-Helgueras, A., Novelo R, A. y Ramírez Pérez. 1993. Diversity of Mexican aquatic vascular flora. In Ramamoorthy, T.P., Bye, R. Lot, A y Fa, J. (Eds.). Biological diversity of Mexico: 577-591. Oxford University Press, New York.
- Lot-Helgueras, A. y Novelo, R. A. 1990. Forested Wetlands of México. En: Lugo A.E., Brown, S. y Brinson, M. (Eds.). Ecosystems of the World Vol. 15. Forested Wetlands of the world. Elsevier Science Publisher. Amsterdam. pp. 287-298.
- Lugo, A.E. 1980. Mangrove ecosystems: Successional or Steady State? *Biotropica* **12(2)**:65-72.
- Lugo, A.E. 1998. Mangrove forests: a tough system to invade but an easy one to rehabilitate. *Marine Pollution Bulletin* **37(8-12)**:427-430.
- Lugo-Hubp, J., Aceves-Quesada, J.F. y Córdova Fernández de Arteaga, C. (1990a). *Pendientes*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.3.1 - C.
- Lugo-Hubp, J., Aceves-Quesada, J.F. y García-Arizaga M.T., (1990b). *Densidad de disección*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.3.2 - C.
- McKee, K.L. y Mendelssohn, I.A. 1987. Root metabolism in the black mangrove (*Avicennia germinans* (L.) L) response to hypoxia. *Environmental and Experimental Botany* **27**:147-156.
- McKee, K.L. 1993. Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution-reciprocal effects? *Journal of Ecology* **81**:477-487.
- McKee, K.L. 1995a. Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: effects of establishment ability and physico-chemical factors. *Oecologia* **101**:448-460.
- McKee, K.L. 1995b. Interspecific variation in growth, biomass partitioning, and defensive characteristics of neotropical mangrove seedlings: response to light and nutrient availability. *American Journal of Botany* **82** (3):299-307.
- McKee, K.L. 1996. Growth and physiological responses of neotropical mangrove seedlings to root zone hypoxia. *Tree Physiology* **16**:883-889.

- McKee, K.L. y Faulkner, P.L. 2000. Restoration of biochemical function in mangrove forests. *Restoration Ecology* **8(3)**:247-259.
- Medina, E. 1999. Mangrove physiology: the challenge of salt, heat, and light stress under recurrent flooding, p 109-126. En: Yáñez-Arancibia, A. y Lara-Domínguez, A.L. (Eds.). Ecosistemas de manglar en América tropical. Instituto de Ecología, A.C. UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 pp.
- Mitsch, W.J. y Gosselink, J.G. 2000. Wetlands. 3ª ed. Wiley. Nueva York, EEUU. 920 pp.
- Munsell Color Company. Inc.1975. Munsell soil color charts. Baltimore, Md.
- Naidoo, G. 1985. Effects of waterlogging and salinity on plant-water relations and on the accumulation of solutes in three mangrove species. *Aquatic Botany* **22**:133-143.
- Pearce, D.W. y Turner, R.K. 1990. Economics of natural resources and the environment. Harvester Wheatsheaf. London UK.
- Pérez-Villega, G. 1990a. *Insolación anual*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.1 - C.
- Pérez-Villega, G. 1990b. *Viento dominante durante el año*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.2.
- Pérez-Villega, G. 1990c. *Energía del viento dominante*. En Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.3.
- Peto, R. y Pyke, M.C. 1973. Conservatism of the approximation $\Sigma(C-E)^2/E$ in the logrank test for survival data or tumor incidence data. *Biometrics* **29**:579-584
- Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedlings in Panama, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography* **5**:113-133.
- Reyes-De la Cruz, A., López-Ocaña, G. y Hernández-Trejo, H. 2002. Evaluación preliminar de los efectos de la inundación y la herbivoría sobre plántulas de mangle. *Universidad y Ciencia* **18(36)**:135-139.

- Riley, R.W. Jr. y Salgado, K.C.P. 1999. Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration. *Mangroves and Salt Marshes* **3**:207- 213.
- Saenger, P. 1982. Morphological, anatomical and reproductive adaptations of Australian mangroves. In: Clough, B.F. (Ed.), *Mangrove ecosystems in Australia*. Australian National University. Canberra, pp 153-191.
- Saenger, P y Snedaker, S.C. 1993. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecología* **96(3)**:293-299.
- Saenger, P. 2002. *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Kluwer Academic Publisher Dordrecht/ Boston/ London. pp.360.
- Salgado, K.C.P. y Lin, J. 1999. A comparison of Riley encased methodology and traditional techniques for planting red mangroves (*Rhizophora mangle*). *Mangroves and Salt Marshes* **3**:215-225.
- Sánchez-Páez, H. y Ulloa-Delgado, G. A. 1999. Experiencias de restauración en el proyecto manglares Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Alejandro Ángel Escobar. Santa Fe Bogota.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Publicada en: El Diario oficial de la Federación el 31 de diciembre del 2002. Segunda sección. México.
- Sobrado, M.A. 2000. Relation of water transport to leaf gas exchange properties in three mangrove species. *Trees* **14**:258-262.
- (SER) Society for Ecological Restoration Internacional. 2004. Principios del SER sobre la restauración ecológica. Tucson: *Society for Ecological Restoration*
- Suárez, N., Sobrado, M.A. y Medina, E. 1998. Salinity effects on the leaf water relations components and ion accumulation patterns in *Avicennia germinans* (L.) L. seedlings. *Oecologia* **114**:299-304.

- Suárez, N. y Medina, E. 2005. Salinity effect on plant growth and leaf demography of the mangrove, *Avicennia germinans* L. *Trees* **19**:721-727.
- Scholander, P.F. 1968. How mangroves desalinate seawater. *Physiologia Plantarum* **21(1)**:251-261.
- Smith, T.J. III. 1987. Effects of light and intertidal position on seedling survival and growth in tropical tidals forest. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **110**: 133-146
- Toledo, G., Rojas, A. y Bashan, Y. 2001. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia* **444**:101-109.
- Thom, B. G. 1984. Coastal landforms and geomorphic processes. En: Snedaker, S.C. y Snedaker, J.G. (Eds.). *The mangroves ecosystems: research methods*. UNESCO. Paris, pp. 3-17.
- Tomlinson, P.B.1986. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Travieso-Bello, A.C., Moreno-Casasola, P. y Campos, A. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Interciencia* **30(1)**:12-18.
- Twilley, R. y Medina, E. 1997. "Dinámicas forestales y características del suelo de las plantaciones de mangle en el estuario de Río San Juan, Venezuela" En: *Annual Letter 1996-1997 International Institute of Tropical Forestry*, United States department of agriculture. Forest Service. pp 180-185.
- Vidal-Zepeda, R. y García, E. 1990a. *Precipitación*. En: *Atlas Nacional de México*. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.6 - A.
- Vidal-Zepeda, R. 1990b. *Temperatura media*. En: *Atlas Nacional de México*. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.4.
- Vidal-Zepeda, R. y García, E. 1990c. *Número de días con precipitación*. En: *Atlas Nacional de México*. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.6 - C.

Vidal-Zepeda, R. y García, E. 1990d. *Precipitación máxima en 24 horas*. En: Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.7 - F.

Vidal-Zepeda, R. y García, E. 1990e. *Número de días nublados al año*. En: Atlas Nacional de México. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F., p. IV.4.7 - E.

Walkley, A. y Black, T.A. 1947. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* **37**:29-38.

Warner, B.G., Agraz-Hernández, C.M. y Flores-Verdugo, F.J. Creación y Restauración de humedales. En: Abarca y Herzig (Editores). Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México. Segunda edición.

Windevoxhel, N. e Imbach, A. 1999. Uso sostenible de manglares en América Central. En: Ammour, T., Imbach, A., Suman, D. y Windevoxhel, N. (Eds.). Manejo productivo de manglares en América Central. Capítulo 8. Turrialba, C.R., CATIE. pp. 329-363.

Young, T.P. 2000. Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation* **92**:73-83.

Youssef, T. y Saenger, P. 1998. Photosynthetic gas exchange and accumulation of phytotoxins in mangrove seedlings in response to soil physico-chemical characteristics associated with waterlogging. *Tree Physiology* **18**:317-324.

Zar, J. 1999. Biostatistical analysis. 2ª. Ed. Prentice Hall Inc. New Jersey.

APÉNDICE 1

Listado de especies asociadas al manglar.

Cuadro 6. Plantas acuáticas colectadas en campo. La forma de vida y categoría está basado en el criterio establecido por: (Dalton *et al.* 1983, Lot-Helgueras *et al.* 1993).

FAMILIA	ESPECIE	FORMA		CATEGORIAS
		BIOLÓGICA	DE VIDA	
Salviniaceae	<i>Salvinia minima</i> Baker	Hierba	Libremente flotadora	Acuática estricta
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Hierba	Libremente flotadora	Acuática estricta
Mimosaceae	<i>Neptunia natans</i> (L.f) Druce	Hierba	Libremente flotadora	Acuática estricta
Lemnaceae	<i>Wolffiella lingulata</i> (Hegelm.) Hegelm	Hierba	Libremente flotadora	Acuática estricta
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i> L.	Árbol	Enraizada emergente	Acuática estricta
Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i> D.L	Árbol	Enraizada emergente	Acuática estricta
Avicenniaceae	<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Árbol	Enraizada emergente	Acuática estricta
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum muricatum</i> Cham.	Hierba	Libremente flotadora	Acuática estricta
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea ampla</i> (Salisb.) DC	Hierba	Enraizada de hojas flotantes	Acuática estricta
Menyanthaceae	<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	Hierba	Enraizada de hojas flotantes	Acuática estricta
Cyperaceae	<i>Eleocharis mutata</i> (L.) Roem & Schult.	Hierba	Enraizada emergente	Acuática estricta
	<i>Fimbristylis spadicea</i> (L.) Vahl	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática
Poaceae	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (Lam.) Hitchc.	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática
Fabaceae	<i>Dalbergia brownii</i> Jacq. Schinz	Arbusto	Enraizada emergente	Tolerante
Amarantaceae	<i>Alternanthera paronychioides</i> A.St.-Hil.	Hierba	Enraizada emergente	Tolerante
Boraginaceae	<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	Hierba	Enraizada emergente	Tolerante
Batidaceae	<i>Batis maritima</i> L.	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática Halófito
Asteraceae	<i>Pluchea odorata</i> (L.) Cass	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática Tolerante
	<i>Borrchia frutescens</i> (L.) DC.	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática Halófito
	<i>Egletes liebmanni</i> Sch. Bip.ex Klatt	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática Halófito
	<i>Mikania micrantha</i> Kunth.	Hierba	Enraizada emergente (trepadora)	Subacuática
Chenopodiaceae	<i>Suaeda</i> sp	Hierba	Enraizada emergente	Subacuática Halófito
Apocynaceae	<i>Rhabdadenia biflora</i> Jacq.	Hierba	Enraizada emergente (trepadora)	Tolerante
Rubiaceae	<i>Randia aculeata</i> L.	Arbusto	Enraizada emergente	Tolerante.

ANEXO FOTOGRAFÍCO





















