



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“Variables ambientales asociadas a la fisonomía
del manglar de la laguna El Llano, Veracruz:
hacia una propuesta de restauración ecológica”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

MARIANA BRAVO MENDOZA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JORGE A. LÓPEZ-PORTILLO GUZMÁN**

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno:

Bravo
Mendoza
Mariana
5515018873 y 2281586722 (celulares)
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
300123072

2. Datos del tutor

Dr.
Jorge Alejandro
López-Portillo
Guzmán

3. Datos del sinodal 1

Dra.
Silvia
Castillo
Argüero

4. Datos del sinodal 2

Dr.
Antonio
Lot
Helgueras

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Víctor
Vásquez
Reyes

6. Datos del sinodal 4

Dr.
Humberto
Hernández
Trejo

7. Datos del trabajo escrito

Variables ambientales asociadas a la fisonomía del manglar de la laguna El Llano, Veracruz:
Hacia una propuesta de restauración ecológica.
74 p
2011

AGRADECIMIENTOS

A mi querida UNAM y a sus grandes profesores por concederme el honor de formarme con ellos desde la Prepa 6 y en la gloriosa Facultad de Ciencias.

Al Instituto de Ecología, A. C. (INECOL) por el respaldo académico y por la beca económica para tesis de licenciatura a través del COSUA para la realización de este trabajo.

Al Dr. Jorge López Portillo, por su valiosa instrucción en el amplio tema de los manglares, por enseñarme la importancia de investigar antes de actuar y por todo el apoyo para lograr esta tesis.

Al M. en C. Víctor Vásquez Reyes, por su incansable compañía en campo, por creer siempre en el valor de este trabajo, por su amistad y por su confianza en mí.

A la Dra. Silvia Castillo por apoyarme durante los talleres de Ecología en la facultad y por sus acertadas observaciones en la tesis.

Al Dr. Antonio Lot por sus comentarios y por su buena disposición en la revisión de esta tesis.

Al Biól. León Rodrigo Gómez Aguilar, por tener la paciencia y disposición para enseñarme a sumergirme en el mundo alucinante de la fotointerpretación por estereoscopia y por iniciarme en el asunto de los SIGs. Por su apoyo en campo, que siempre lo hizo mucho más divertido y por su gran amistad.

Al Biól y E. G. Guillermo Martínez Verduzco, por ayudarme con la edición final del mapa de vegetación de este trabajo y por aguantar muchas horas los constantes cambios del mismo. Por ser un buen amigo.

A mis padres Carmen y Gonzalo, por estar siempre conmigo. Por su inconmensurable amor y apoyo, por sus exigencias y regaños (que también hacen crecer). Por darme el mejor ejemplo de entrega, responsabilidad y respeto. Por su enorme paciencia.

A mis hermanas Amanda y Xuliana, por ser mis compañeras en mis primeras palabras y cómplices de mis aventuras. Por esos enojos que nunca han sido más valiosos que las risas compartidas con ustedes. Por todo lo que viene.

A toda mi familia, por interesarse en mis pláticas biológicas de manglares, bichos y más, por entender y consecuentar mi pasión por la naturaleza y la ciencia. En especial a mi abuela Afrania, por heredarme su capacidad observadora y enorme gusto por las plantas y los animales.

A los Drs. Zenón Cano Santana, Iván Castellanos Vargas y Víctor López Gómez, grandes maestros que me mostraron la apasionante rama de la Ecología, la cual creía tan lejana de mí y terminé inmersa en ella. Por instruirme científica y éticamente siempre confiando en mi capacidad.

A la M. en C. Josefina Segura Gortares, mi profesora de Biología por dos años en la prepa, por hacer tan divertida esta ciencia y contagiarme su gusto.

Al Biól. Jorge Brambila, por ser en buena medida el inocente responsable de que yo haya llegado al INECOL en busca del Dr. López Portillo, cuando lo único que sabía era que quería trabajar en los manglares sin saber qué, cómo ni dónde. Por su amistad y su constante interés en mi trabajo.

A Edna Wright, por recordarme cómo retomar mi camino. Por todo el amor entregado en su trabajo conmigo.

A mis inquietos amigos con los que fundamos “*Coria*: Grupo Estudiantil de la Fac. de Ciencias, UNAM; para la Divulgación de la Biología”. A todos los que alguna vez fueron *coritos*, por creer que si la ciencia es una práctica elitista, la divulgación no tiene por qué serlo. Por hacer de *Coria*, una experiencia única, donde la burocracia no pudo con nuestro entusiasmo. Sigamos fortaleciendo la educación de todos y para todos.

A mi capoeira iluminada, por estar siempre para mí, con su música, con sus cantos, con sus rudos treinos y con la fortaleza que me da al cuerpo y alma. Porque cada toque de berimbau, ha sido una sonrisa con todos mis amigos capoeiristas de ABADÁ DF y Xalapa.

A los *anexos*, mis amigos de la secu y de todo tiempo después. Por estar conmigo a lo largo del tiempo y el espacio. Por hacer más numerosa a mi familia.

A los valientes amigos que se atrevieron a acompañarme bajo cualquier condición extrema al “llanero solitario” para lograr la descripción del manglar: Víctor Vásquez, León Bartolomé Hernández, Luz del Carmen Lechuga, Carmen Martínez, Socorro Vázquez, León Rodrigo Gómez y mi querida prima Guadalupe Camacho. Con ustedes, cada ida al Llano marcó una aventura memorable.

A mis amigos de Xalapa, por hacer mi estancia en esa ciudad, una de las mejores etapas de mi vida guajira. Por enseñarme a escuchar más son, más salsita, más clásica, más reggae y a tener más risas compartidas. Por convertirse en mi familia cuando la sanguínea no estaba cerca.

A todos mis grandes amigos de la vida, porque en definitiva no sería la misma sin ellos: Gabi Paredes, Estrella Chévez, Nata Cuéllar, Memo Martínez, Javier Ortega, León Herrerías (¡gracias por la ayudota con el papeleo tesiano!), Eliud Rodríguez, Juan Manuel Sánchez, Adriana Espinosa, Leti Moyers, Cirene Gutiérrez, Libertad Garibo, Diego CAS, Iván Díaz (Ratão), MaGa Aguilera, Alejandro (Haku) Martínez, León Gómez, Berenice Beaven, Valeria Alvarado, Alejandra Vovides, Beatriz Marín, Claudia Paredes.

A todo ser cuyo camino cruzó con el mío en algún momento y me dio la oportunidad de aprender algo, gracias eternamente. Aunque el destino nos haya puesto en caminos distintos nuevamente, las elipses cruzarán una y otra vez más, en otros planos, en otras montañas encendidas, en otros mares, en otros llanos y con otros motivos.

GRACIAS A LA VIDA, QUE ME HA DADO TANTO.

DEDICATORIA

*“A todos los seres
de todos los Reinos
de este hermoso planeta Gaia.
Seamos libres y felices.”*

“Simplemente nuestro joven investigador descubrió tempranamente que todo saber es fragmentario y que en cada peldaño del camino del conocimiento queda un residuo no resuelto”. –S. Freud.

CONTENIDO

Resumen	5
Introducción	6
Marco teórico	
<i>Estimación de las áreas de manglar</i>	6
<i>Factores determinantes del establecimiento y zonación de las comunidades de manglar</i>	8
<i>Restauración ecológica y rehabilitación de manglares</i>	13
Objetivos	15
Hipótesis	15
Materiales y métodos	
<i>Sitio de estudio</i>	16
<i>Metodologías</i>	18
Resultados	
<i>Distribución y fisonomía de las comunidades de manglar</i>	22
<i>Localización y descripción y de zonas de manglar conservado y perturbado</i>	26
<i>Caracterización y determinación del éxito de sitios anteriormente aforestados</i>	27
Discusión	32
Conclusiones	37
Propuesta para la restauración ecológica del manglar en El Llano	38
Literatura citada	42
Anexo fotográfico	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Localización geográfica de la laguna costera El Llano en el estado de Veracruz, México.	51
Fig. 2. Diagrama de flujo que indica los métodos realizados para cubrir los objetivos particulares de este trabajo. .	51
Fig. 3. Ubicación de los doce sitios de manglar conservados y perturbados elegidos a la orilla de la laguna en El Llano, Ver.	52
Fig. 4a. Mapa de distribución de las unidades de manglar en la laguna de El Llano, Ver.	53
Fig 4b. Mapa de distribución de las unidades manglar en la porción norte de la laguna El Llano, Ver.	54
Fig. 4c. Mapa de distribución de las unidades de manglar en la porción sur de la laguna El Llano, Ver.	55
Fig. 5. Comparación de la densidad en los sitios de bosques de mangle conservados y perturbados en el oeste y este de la laguna El Llano, Ver.	56
Fig. 6. Comparación de los valores de salinidad, temperatura y profundidad del manto freático en los sitios con bosques conservados y perturbados en el oeste y este de la laguna El Llano, Ver. .	56
Fig. 7. Salinidad y profundidad del manto freático registrados en época de lluvias para diferentes asociaciones de manglar en El Llano, Ver.	57
Figura 8. Salinidad y profundidad del manto freático registrados en época de secas para diferentes asociaciones de manglar en El Llano, Ver.	57
Fig. 9. Ubicación y representación de los transectos de microrrelieve realizados en el manglar de El Llano, Ver.	58

Fig.10. Transectos de microrrelieve de los sitios aforestados *norte 1* y *norte 2* con plántulas de *R. mangle* en El Llano, Ver. 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. . Bosques de manglar identificados en la laguna de El Llano, clave de identificación, número de fragmentos o parches que las componen, área que ocupan, porcentaje que ocupan respecto al área total y algunos datos de su forma de vida..	60
Tabla 2. Altura de las cuatro especies que componen los diferentes tipos de bosques y asociaciones de manglar en El Llano, Ver.	61
Tabla 3. Área basal de las especies que componen los diferentes tipos de bosques y asociaciones de manglar en El Llano, Ver.	62
Tabla 4. Densidad de individuos de las cuatro especies de manglar en los diferentes bosques y asociaciones en El Llano, Ver.	63
Tabla 5. Densidad, supervivencia de las plántulas introducidas y parámetros del manto freático en los sitios aforestados ubicados en el borde de la boca lagunar de El Llano, Ver., medidos en abril de 2006.	63

RESUMEN

Debido a la gran presión antropogénica sobre los manglares en México y su constante pérdida en áreas, se han implementado programas federales y estatales con los que se apoya la reforestación o aforestación de manglares. Uno de esos sitios fue la laguna de El Llano, Veracruz, en donde anteriormente se sembraron plántulas producidas en vivero, que por diversas razones resultó en una elevada mortandad. Esta tesis explica dicha mortandad a partir de la descripción de las diferentes comunidades de manglar en esta laguna y de su asociación con variables ambientales.

La hipótesis del trabajo es que la distribución y la estructura de las comunidades de manglar se relacionan con la salinidad, el hidroperiodo y el relieve del substrato; y que esta asociación determina los distintos tipos fisonómicos de bosques de manglar. Para probar esta hipótesis, se realizó un análisis estéreo-visual de fotografías aéreas del sitio del año 2006 a escala 1: 5000 y se digitalizaron en un SIG. Para la validación en campo de la vegetación de manglar se utilizó el método de cuadrante al punto central de Cottam y Curtis y se trazaron cuadros de 100 m² en los que se registró la salinidad intersticial, profundidad y temperatura del manto freático; así como las especies presentes de mangle, su densidad, DAP y altura. Además, se trazaron transectos perpendiculares a la orilla de la laguna para medir microrrelieve en los sitios donde las fotografías aéreas mostraban mayor diversidad fototonal (textura, altura, configuración del grano y tono), que correspondía con la diversidad de especies de mangle presentes.

Se identificaron ocho asociaciones de manglar; entre las monoespecíficas están: **(1)** bosque de *Rhizophora mangle* a lo largo de la orilla lagunar; **(2a)** bosque de *Avicennia germinans* arbustivo ($h= 1.2 \text{ m} \pm 0.12 \text{ e.e.}$) en las zonas de mayor salinidad; **(2b)** bosque de *Avicennia germinans* arbóreo bajo ($h=3.4 \text{ m} \pm 0.45 \text{ e.e.}$), mediano ($h= 7.6 \text{ m} \pm 0.42 \text{ e.e.}$) y alto ($h=14 \text{ m} \pm 1.48 \text{ e.e.}$) (intervalos relativos a esta laguna); **(3)** bosque de *Laguncularia racemosa* multicaules con fustes delgados en una sola porción del manglar y **(4)** bosque de *Conocarpus erectus*, algunos con crecimiento postrado. Las asociaciones mixtas se encuentran con monodominancia de *A. germinans* y se clasifican en: **(5)** bosque de *A. germinans* y *L. racemosa*, **(6a)** bosque de *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus*, **(6b)** bosque de *A. germinans* y *C. erectus*; **(7a)** bosque de *A. germinans* y *Rhizophora mangle*; **(7b)** bosque de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa*; **(7c)** bosque de *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus* y **(8)** bosque de *R. mangle*, *L. racemosa* y selva inundable.

Los datos obtenidos en el análisis de las fotografías y la verificación de campo indican que esta laguna cuenta con 108 ha de manglar y un área lagunar de 220 ha cuya conexión con el mar es temporal por una barra arenosa efímera.

El sitio de estudio ha sido sujeto a acciones fallidas de aforestación al no considerar los parámetros abióticos en los que se establecen las especies de manglar en El Llano. La diversidad de bosques descritos es evidencia para que la restauración sea exitosa, al tomar en cuenta las proporciones y distribución de las especies de los sitios conservados de manglar, así como el hidroperiodo y la mezcla entre aguas continentales y marinas.

INTRODUCCIÓN

Los manglares son ecosistemas costeros compuestos por una comunidad vegetal leñosa que se establece en las zonas tropicales y subtropicales del mundo, bajo la influencia de agua del mar pero resguardada del oleaje (Chapman, 1976; Tomlinson, 1986). Son considerados parte de los humedales salobres por la Convención Ramsar (Ramsar, Irán, 1971). Según esta convención los humedales son sistemas permanente o temporalmente inundados y que abarcan desde veras de los ríos hasta arrecifes coralinos. Por lo anterior, al manglar se le considera como ecosistema de interfase o de transición hídrica-terrestre.

Los manglares de México se distribuyen como fragmentos alrededor de lagunas costeras y esteros; cerca de la desembocadura de ríos, arroyos y sistemas deltaicos de las costas del Golfo de México y el Océano Pacífico. Hacia el norte del país, se encuentra el límite biogeográfico septentrional de la distribución de manglares a los 29° latitud norte (Ramírez-García y Lot-Helgueras, 1994; NOM-022-SEMARNAT-2003). La costa este de la República Mexicana es, en contraste con la costa oeste, de mayor diversidad en tipos de manglares a causa de la humedad que recibe por los vientos alisios con dirección este-oeste (López-Portillo y Ezcurra, 2002).

MARCO TEÓRICO

Estimación de las áreas de manglar

Hay grandes diferencias en las áreas calculadas cubiertas por manglares en la República Mexicana, esto es consecuencia de las herramientas utilizadas, las escalas de trabajo y la falta de verificación en campo (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Ruiz-Luna *et al.*, 2008; CONABIO, 2009). Algunos métodos utilizados en estos estudios consisten en el análisis de imágenes satelitales, videos aéreos o fotografías aéreas y pocos hacen verificaciones en campo para caracterizar las comunidades o asociaciones de manglar y evaluar los resultados de la clasificación (INE, 2005). En un esfuerzo reciente, CONABIO (2009), trabajando con base en imágenes de satélite SPOT y verificación en campo, estimó que la cobertura de manglares en el país, es de 770,057 ha.

Existen varias formas de representar la distribución espacial de las comunidades vegetales y la escala de representación está en función del interés y grado de detalle al que se quiere llegar, además de los recursos técnicos, del acervo de información de imágenes y de cartografía en general (Ruiz-Luna *et al.*, 2008). Las escalas pequeñas (1:100,000; 1:50,000) proporcionan información regional, como es el caso del Inventario Nacional de manglares publicado por CONABIO (2009), que reporta las coberturas de manglares a la escala de 1:50,000; una escala difícil para poder distinguir entre comunidades de manglar, sobre todo en áreas en donde las diferentes comunidades se distribuyen en franjas relativamente estrechas. Para poder distinguir geográficamente estas comunidades se requieren escalas mayores (1:10,000; 1:5,000) a fin de llegar a un máximo de detalle, incluso con las posibilidades de distinguir entre árboles individuales.

Actualmente, la generación de bases de datos integrables a Sistemas de Información Geográfica (SIGs), facilita el análisis y la actualización de los datos para estudios ecológicos que contribuyen al conocimiento de la estructura y distribución de las comunidades vegetales; así como a la toma de decisiones en el manejo y conservación de los recursos ambientales (Monroy-Ibarra y Travieso-Bello, 2006). Sin embargo, no es suficiente presentar un esquema o un mapa de distribución de las comunidades basado en el análisis de imágenes; ese esquema debe ser corroborado en el campo, ubicando geográficamente los puntos de verificación para después proceder a validar cada uno.

Factores determinantes del establecimiento y zonación de las comunidades de manglar

Los manglares presentan características morfológicas, estructurales, fisiológicas y florísticas particulares. Dichas características determinan el tipo de distribución, con frecuencia a manera de franjas paralelas a la línea de costa, donde puede existir dominancia de una sola especie (manglares monoespecíficos) o donde coexisten dos o más especies (manglares mixtos) (Tomlinson, 1986; Valdez-Hernández, 1991; Young y Harvey, 1996). Thom (1967) aseveraba que se pueden hacer correlaciones generales entre el género de mangle y los factores ambientales como el régimen hídrico y las propiedades del sustrato que al interactuar entre sí, producen patrones de vegetación. Además, documentó un proceso de cambio en diferentes comunidades de manglar en Tabasco que obedecía a procesos geomorfológicos de depósito activo, abandono y posterior hundimiento del sustrato, inherentes a la ocupación de cada una de estas zonas por una especie o una combinación de especies definidas; siendo el relieve un factor determinante en la distribución de las asociaciones de manglar (Thom, 1967).

Las diversas geoformas de la zona costera, los tipos de suelo (textura y contenido de materia orgánica), el relieve, el hidroperiodo, así como la vegetación y fauna determinan un mosaico de ambientes con diferentes características, a veces contrastantes (Monroy-Ibarra y Travieso-Bello, 2006). Así, las unidades de vegetación en este mosaico responden a un conjunto de condiciones que regulan la función del ecosistema (Lugo, 1980).

En caso de presentarse algún disturbio en el manglar, sus efectos diferirán entre hábitats y dependerán de las características del sedimento y de los regímenes de flujo de agua y salinidad de cada sitio (Kathiresan y Bingham, 2001).

Entre los factores ambientales que ejercen mayor influencia en los ecosistemas de manglar en México, desde una escala regional hasta una local, están:

El clima. El manglar tiene un mejor desarrollo y crecimiento en localidades tropicales húmedas que en costas templadas áridas, debido a que en los climas húmedos la salinidad es menor y los aportes de nutrientes en la tierra son mayores. En climas áridos, sucede lo contrario, pues la alta evaporación concentra las sales en el sustrato y la disponibilidad de nutrientes disminuye (Lugo, 1980; Morrisey *et al.*, 2010). En las costas del Golfo de México, las condiciones ambientales se pueden dividir en tres estaciones climáticas meteorológicas que se traslapan de manera relativa: (a) *secas*, que va de febrero a mayo, en la que existen bajos niveles hídricos del cuerpo de agua, la insolación y las elevadas temperaturas ocasionan altas tasas de evaporación; (b) *lluvias de verano* que va de junio a octubre; se presentan depresiones tropicales y los niveles de inundación aumentan y c) *frentes fríos anticiclónicos (nortes)* de octubre a febrero que provocan descensos en la temperatura del aire y lluvias invernales. (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

Los bosques de manglar de alturas menores tienden a desarrollarse en latitudes altas, donde la temperatura ambiental suele ser baja (Méndez-Alonzo *et al.*, 2008). Finalmente, tomando en cuenta las diferencias latitudinales, los límites de la distribución del manglar corresponden a bajos promedios en temperatura y una mayor frecuencia de heladas (Lot-Helgueras *et al.*, 1975; Morrisey *et al.*, 2010).

El nivel del manto freático y la salinidad. Los manglares se establecen frecuentemente en sitios de inundación con ambientes anóxicos y salinos, bajo la influencia de la marea, por lo que su desarrollo está condicionado al hidroperiodo y a la salinidad del agua intersticial (Contreras-Espinosa y Warner, 2004; Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

La profundidad del manto freático y el nivel de inundación determinan el nivel de anaerobiosis a las que son sometidas las raíces de los mangles (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). La salinidad es uno de los factores más importantes para la distribución vegetal y depende de la cercanía de la fuente salina (generalmente el mar), de la influencia de las mareas, de los niveles de infiltración de agua dulce continental y de la evaporación (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Cada especie de manglar ha sido registrada en un ámbito de valores de salinidad característico, aunque en general tienen un óptimo crecimiento entre 10 y 20‰: *Avicennia germinans* (mangle negro) puede crecer y reproducirse en las salinidades más altas (65 hasta 100 ups) y suprime su desarrollo estructural en condiciones de hiperhalinidad (70 ups); *Rhizophora mangle* (mangle rojo) soporta menos salinidad que *A. germinans* (de 0 hasta 65 ups), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) se encuentra en salinidades aún más bajas (de 0 hasta 42 ups) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) está en suelos mejor drenados aunque puede tolerar salinidades que van de 0 a 90 ups (Jiménez, 1985a, 1985b;

Jiménez y Lugo, 1985; McKee, 1995; Agraz-Hernández *et al.*, 2006, Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Hidrología. Las condiciones hidrológicas son producto de una combinación de las mareas, los escurrimientos terrestres, la precipitación- evaporación, el efecto del viento, la profundidad y geomorfología del cuerpo de agua y de la topografía del terreno (Agraz-Hernández *et al.*, 2006; Mitsch y Gosselink, 2002 en Flores-Verdugo *et al.*, 2007). Esta variable determina el éxito o fracaso de programas de restauración al permitir el buen funcionamiento biológico y químico del ecosistema de manglar (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Las diferentes especies de mangle tienen distintas tolerancias a la inundación, por lo que su presencia en determinados sitios se define por pocos centímetros de diferencia topográfica. *Rhizophora mangle* es la especie que se ubica en las zonas de mayor profundidad, seguida tierra adentro por *A. germinans* en suelos cubiertos por unos pocos centímetros de agua periódicamente estancada o inundados solamente unas pocas veces por año, *L. racemosa* crece en suelos más elevados al interior del manglar donde las inundaciones por mareas son menos frecuentes e intensas y *C. erectus* se establece generalmente en las zonas con menor inundación y salinidad (Jiménez, 1985a; Jiménez, 1985b; Jiménez y Lugo, 1985; Agraz-Hernández *et al.*, 2006). El hidroperiodo es el patrón dado por la frecuencia y duración de la inundación de una zona y su microtopografía, su magnitud determina las condiciones de óxido-reducción, la acumulación de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, riqueza y composición de especies y la productividad primaria (Lewis, 1982 en Flores-Verdugo *et al.*, 2007)

Relieve. La fisonomía, estructura y asociaciones de un bosque de manglar está dada por las formas del relieve en que se desarrollan las especies (Thom, 1967, Lugo y Snedaker, 1974, López-Portillo y Ezcurra, 2002, Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Las pequeñas variaciones en el relieve (menores de 10cm) definen el microrrelieve o microtopografía. Los cambios microtopográficos se reflejan en la hidrología y en las condiciones del suelo en donde se establecen las plantas de los humedales, además permite inferir áreas potenciales de restauración para determinadas especies. (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Suelos. Los suelos en los que se establecen los manglares están frecuentemente formados por partículas finas (arcillas y limos) que impiden la aireación adecuada para difundir el oxígeno por el substrato, lo que en condiciones de inundación crea ambientes anóxicos. Al ser halófitas facultativas, los mangles pueden crecer en costas sedimentarias bajas en áreas deltaicas con predominancia de suelo limo-arcilloso más que arenoso (Thom, 1967).

Factores bióticos. Estos factores inherentes a cada especie toman mayor importancia en el mantenimiento de los patrones de zonación en sitios de salinidad baja y moderada en los que se sobrepone la distribución de las especies (Snow y Vince, 1984). Se argumentó que la zonación en manglares dependía de tamaño de los propágulos, y que los más largos alcanzaban mayores profundidades (Rabinowitz, 1978; Kathiresan y Bingham, 2001), pero esta relación no se cumple en zonas de gran diversidad de especies, como en Asia y Oceanía (Tomlinson, 1986). McKee (1993) propuso que las especies podrían ser desplazadas espacial y temporalmente por dispersión, competencia interespecífica, depredación y su respuesta a la salinidad.

Restauración ecológica y rehabilitación de manglares

En cada región, estado y municipio de México en la que hay manglares, existen distintas causas de deterioro de esta vegetación, siendo las principales el cambio de uso de suelo en actividades para agricultura, ganadería, camaronicultura, infraestructura turística, asentamientos humanos y actividades industriales; en especial las relacionadas con el petróleo (Loa-Loza, 1994; INE, 2005).

Aunque hay leyes, decretos y acuerdos para la protección de ecosistemas de manglar hay también deficiencias en la aplicación, vigilancia y cumplimiento; así como en los programas de educación ambiental de la población en general (Loa-Loza, 1994, Saavedra-Vázquez, 2006).

De acuerdo con la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER International, 2004), la restauración ecológica es el proceso de asistencia a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido por causas antropogénicas o ambientales, teniendo como referencia su trayectoria ecológica e histórica pero con las limitaciones de su estado actual de perturbación.

Otras acciones de conservación de los ecosistemas son: la reforestación, que hace referencia al re-establecimiento natural o artificial de bosques en un área que estuvo previamente bajo cubierta forestal y la aforestación, que es el establecimiento artificial de bosques mediante plantación o siembra en un área que no era forestal (*Glossary of Environment Statistics*, 1997). La rehabilitación enfatiza la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema, sin embargo la restauración de las condiciones ecológicas interrumpidas, como la composición biótica y estructura de la comunidad, no se encuentra en sus objetivos (SER International, 2004).

A pesar de que en México, hablar de restauración ecológica, reforestación o de manejo sustentable en manglares aún es un tema poco estudiado y de baja difusión, cuyos proyectos están a nivel experimental o son escasos (Flores-Verdugo *et al.*, 2007), éste es el segundo país con mayor número de humedales prioritarios reconocidos internacionalmente (134 *sitios Ramsar*) a los que se está dotando de programas para su manejo y conservación, teniendo a más del 60% en la categoría de Área Natural Protegida y 30 de éstas albergan ecosistemas de manglar (CONANP, 2011).

OBJETIVOS

Objetivo General

Describir los factores ambientales asociados a la fisonomía y composición de las comunidades de manglar en la laguna El Llano, Veracruz y encontrar patrones que puedan aplicarse en restauración ecológica.

Objetivos particulares

1. Determinar teleméricamente el límite y distribución de las comunidades de manglar y relacionar su fisonomía con los factores ambientales.
2. Localizar y describir las zonas de manglar conservadas y perturbadas, para conocer el estado actual del manglar y determinar sus causas.
3. Caracterizar los sitios en donde se han realizado anteriores esfuerzos de aforestación, y explicar las razones de su éxito o fracaso.

HIPÓTESIS

La distribución y la estructura de las comunidades de manglar se relacionan con la salinidad, el hidroperiodo y el relieve del substrato; se espera que esta estrecha relación determine los distintos tipos fisonómicos de bosques de manglar.

Las razones del éxito o fracaso de un proyecto de reforestación o aforestación pueden explicarse estableciendo criterios base entre la distribución cartográfica y los valores ambientales de la localidad de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La laguna de El Llano se encuentra en el litoral costero del estado de Veracruz en de la localidad de Villa Rica en el municipio de Actopan, en las coordenadas 19° 38' y 19° 40' N; 96° 24' y 96° 24'30" O (Contreras-Espinosa, 1985) (Fig. 1). Presenta un clima Aw2; cálido subhúmedo con lluvias en verano (de junio a septiembre) según el sistema de clasificación climática de Köeppen, modificado por García (1973). La precipitación media anual de la región es de 1,000-1,500 mm y la temperatura promedio es de 24° C (máx. 40.5° C, mín. 6° C) (García, 1973). La forma de la laguna es alargada y mide aproximadamente 3 km de longitud en su eje mayor y 1 km de ancho.

Esta laguna posee una boca efímera que pierde la conexión con el mar al formarse una barra arenosa. En consecuencia, su descarga de agua al mar también es estacional y cuando se rompe la barra al subir el nivel del embalse en la temporada de lluvias (Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Durante nueve meses al año posteriores a la época de mayores lluvias, se evapora aproximadamente el 98% del agua, además de que la barra arenosa cierra la salida natural al mar. Este fenómeno, según usuarios (Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Tinajitas y El Viejón” (Plata, 2005), reduce la abundancia de fauna acuática de la laguna.

La laguna es somera, suavemente modificada por acción mareal y procesos no marinos; tiene salinidad altamente variable, desde levemente salobre hasta hiperhalina y llega a secarse estacionalmente (Lankford, 1977). Este gradiente salino ha permitido el establecimiento de vegetación de manglar y selva inundable en algunas partes alrededor del cuerpo lagunar. La deforestación de los bosques en los cerros aledaños y la introducción de un gasoducto en los años 80's por PEMEX (que atraviesa por la boca de la laguna) incrementaron el azolvamiento de ésta, obstruyendo su descarga hacia el mar y el flujo hídrico entre el continente y el mar.

Desde el 2 de febrero de 2004 las lagunas El Llano y La Mancha forman parte del *sitio Ramsar* 1336, bajo los criterios 1 y 2 por “contener un ejemplo representativo, raro o único de un tipo de humedal natural o cercanamente-natural encontrado dentro de la región biogeográfica apropiada y por soportar especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas” (Convención Ramsar sobre los humedales, 1971).

En la última década se han llevado a cabo diversos estudios, propuestas y acciones por parte de algunas instancias del Gobierno Federal y Estatal, el Instituto de Ecología (INECOL) A. C., la Universidad Veracruzana y la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Tinajitas y El Viejón” para la recuperación de la laguna de El Llano. Entre otras están: la apertura de la barra en 1999 y dragado de la laguna en 2001. Hasta la fecha, la boca de la laguna ha sido continuamente modificada. En el año de 2005, el Ing. Víctor Hernández Morales y estudiantes de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Veracruzana (zona Coatzacoalcos), junto con la cooperativa de pescadores realizaron un proyecto de aforestación en un área pequeña cercana a la boca de la laguna de El Llano (Universo, 2006). El proyecto es considerado en esta tesis como un estudio de caso.

Metodologías

Los métodos que se realizaron para alcanzar los objetivos de esta tesis, se resumen en el diagrama de flujo (Fig. 2). De manera detallada se especifica lo siguiente:

Distribución y fisonomía de las comunidades de manglar. La diferenciación de las comunidades de vegetación de manglar se realizó haciendo un análisis estéreo visual, con un estereoscopio de espejos, de seis fotografías aéreas del sitio escala 1:5,000 (propiedad del INECOL), tomadas en marzo de 2006 por la empresa Geosisa. Las fotografías se georrefirieron usando de base la ortofoto INEGI carta E14B28c de 1995, escala 1:20,000.

El análisis estéreo visual es un proceso que permite crear una representación en 3D a partir de dos imágenes en 2D (López-Valles *et al.*, 2005). El método consistió en dibujar en acetatos sobre las fotografías aéreas los contornos de las áreas de vegetación similares en fototonos (elementos observables tales como: textura, configuración, tono y altura) (Gómez-Aguilar, 2006). Primero, se discriminó la vegetación de “manglar” de la “no manglar”; es decir; se diferenció entre las áreas posiblemente cubiertas por especies de mangle, de las cubiertas por pastizales, acahuales, selvas, humedales u otra vegetación. Después, al interior del área considerada como manglar y usando los criterios fototonales, se dibujaron polígonos que delimitaban las distintas comunidades de mangle que se distinguían por ser áreas similares en estos criterios. Posteriormente, los contornos de los polígonos dibujados en los acetatos se digitalizaron en pantalla en un SIG con el software ArcView GIS 3.3 (ESRI, 2002).

Para validar el mapa realizado, se seleccionaron estaciones de muestreo potencial en donde se distinguieron comunidades diferentes utilizando el fototono como característica distintiva y se procedió a la validación en campo. Se realizaron 89 puntos de verificación

más dos que pertenecen a los sitios anteriormente aforestados, ubicados con un GPS Garmin modelo GPS72. Por el método de cuadrante al punto central de Cottam y Curtis (1956) modificado por Gómez-Aguilar (2006) y por cuadros de 100 m² se hizo la caracterización de la vegetación, tanto en época de secas como de lluvias. Las variables de la vegetación registradas fueron: identidad de las especies de mangle presentes, densidad del bosque (número de árboles de mangle·ha⁻¹), diámetro a la altura del pecho (*dap* en cm), altura de los árboles (m). Así mismo, en cada estación de muestreo se perforó un pozo con una barrena hasta la profundidad necesaria para encontrar el manto freático en el que se midió con una regla la profundidad del manto freático (cm) y con un medidor multiparamétrico YSI modelo 30 se registraron los parámetros fisicoquímicos: salinidad intersticial (ppm) y temperatura del manto freático (°C). El mismo pozo se utilizó para describir el tipo de textura del suelo: arcilloso, limoso, arenoso y sus combinaciones. Se hizo una prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney para comparar los valores de la temperatura del manto freático en época de secas y de lluvias.

La información del mapa de vegetación preliminar y la validación en campo sirvieron para integrar el mapa de vegetación final editado en el software del SIG ArcInfo 9.2 (ESRI, 2006) en el que se muestran las diferentes asociaciones de especies de manglar, su distribución y ubicación. El SIG permitió hacer estimaciones sobre el número de fragmentos de vegetación, área ocupada por manglar, área del cuerpo lagunar. El mapa final representa las asociaciones de manglar únicamente distinguibles por las especies componentes y no por otro atributo representado en la estereovisión como la altura o densidad del bosque, esto con fines de lograr una fácil interpretación.

Localización y descripción de zonas conservadas y perturbadas. El análisis preliminar de las fotos aéreas y la búsqueda sistemática en el campo permitieron la ubicación de bosques de manglar aparentemente conservados o perturbados. Se establecieron 12 parcelas en total de 400 m² en el borde lagunar: seis del lado oeste (tres conservados y tres perturbados) y seis del lado este (tres conservados y tres perturbados) (Fig. 3).

Los sitios conservados se caracterizaron por presentar en las fotografías aéreas tonos verdes (claros, medios u oscuros) y por componerse de árboles vivos en buen estado o con menos del 40% de ramas secas. Se consideraron sitios perturbados aquellos que presentaron tonos grisáceos en las aerofotos y árboles muertos en pie o árboles con más del 40% de ramas secas (árboles dañados) dentro del área de muestreo.

En cada parcela se registraron las variables mencionadas del manto freático: profundidad (cm), temperatura (°C) y salinidad (ppm). Para determinar la estructura del bosque se realizaron censos, las variables medidas fueron: identidad específica, estado de desarrollo (plántula, juvenil o adulto), condición de salud (vivo, dañado o muerto en pie) y densidad (número de individuos · m⁻²).

Caracterización y determinación del éxito de sitios anteriormente aforestados. Se identificaron en campo cuatro sitios de diferentes áreas menores a 400 m², sujetos a previa aforestación en el 2005 por personal de la U.V., utilizando plántulas de *R. mangle*. De estos sitios, dos se localizan al norte y dos al sur de la boca de la laguna. Al desconocer las cantidades exactas de plántulas sembradas y debido a la alta mortandad que en los sitios se presentó, se calculó el número de individuos introducidos a partir de los que aún se encontraban vivos o muertos en pie separados entre sí por 1 m que cabrían en cada una de las áreas. Se obtuvo la densidad de plántulas introducidas respecto a la cifra hipotética de

siembra y se calculó el porcentaje de supervivencia a partir de los individuos vivos encontrados en ese momento. Los sitios aforestados donde se hicieron las mediciones de los parámetros del manto freático fueron dos: uno al norte y otro al sur de la boca de la laguna.

La comparación entre sitios aforestados y conservados de los distintos bosques de manglar en El Llano, se basó en las propiedades del manto freático ya mencionadas y en las micro-variaciones en la altura del terreno (microtopografía). Ésta se registró en cuatro transectos perpendiculares a la orilla de la laguna: dos del lado este, uno al sur y uno al oeste. Éstos se ubicaron en los sitios donde las fotografías aéreas mostraban mayor diversidad fototonal desde el borde externo del manglar hacia el cuerpo lagunar. Las mediciones se hicieron cada 15 m usando el método de cambio de nivel con reglas graduadas (en 100 cm) y una manguera de nivel transparente de 15 m de longitud y 0.5 cm de diámetro (García-Márquez, 1984), tomando como cota cero el nivel de inundación de la laguna.

RESULTADOS

Distribución y fisonomía de las comunidades de manglar

El cuerpo lagunar ocupa un área estimada de 220.07 ha y 108.18 ha de vegetación de manglar que se extienden alrededor de ésta, de las cuales, se identificaron doce tipos de bosques de manglar (ver Fig. 4a, 4b, 4c y Tabla 1) en las que se incluyen bosques monoespecíficos de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*; y de igual modo, bosques mixtos (asociaciones) de estas cuatro especies. El manglar de El Llano presenta una fragmentación evidente en la parte norte por arriba de la boca de la laguna. En esta zona se forma una laguneta de agua dulce (1.1 ppm) sin conexión con el mar, que permanece inundada la mayor parte del año, incrementando su nivel en la época de lluvias.

- *Caracterización de la vegetación*

Los bosques monoespecíficos presentan las siguientes características:

1) *Rhizophora mangle* se encuentra rodeando la mayor parte del cuerpo lagunar del lado este y sólo en pequeños tramos del lado oeste, formando estrechos bosques donde la topografía le permite estar en el nivel más alto de inundación.

2) *Avicennia germinans* es la especie que tiene mayor dominancia en los bosques mixtos y forma grandes extensiones de bosques monodominantes. Los bosques de mangle negro tienen diferente estructura dependiendo del relieve topográfico, de la profundidad del manto freático y de salinidad del mismo:

2a) Bosque de *A. germinans* con crecimiento arbustivo. La altura promedio es de 1.23 m (± 0.12 e.e.) y ramifican desde la base. Se ubican tres zonas con este tipo de fisonomía (Fig. 4b), dentro de las coordenadas UTM Z14: 772416, 2176160

(19°39'43"N 96°24'07"O), 772477, 2176318 (19°39'48"N, 96°24'04"O) y 772527, 2174058 (19°38'34"N, 96°24'04"O), conviviendo con vegetación halófila como *Batis marítima*, *Salicornia bigelowii* y *Borrichia frutescens* entre otras.

2b) Bosque de *A. germinans* arbóreo, con un fuste principal, se encuentran detrás de *R. mangle* hacia la cuenca y se desarrolla en los suelos con alta salinidad durante la época de secas. Sin embargo, los bosques pueden presentar alturas promedio de 14 m.

3) El bosque de *Laguncularia racemosa* crece, en la que se supone, es una zona de recolonización de manglar entre las coordenadas 771438, 2174399 (19°38'46.5"N, 96°24'41.5"O) colindante con potreros (Fig. 4c). La imagen de INEGI carta E14b28c de 1995 muestra que dicha área era ocupada por pastizales u otra vegetación inducida de menor altura. Los árboles actuales de mangle blanco son multicaule, con fustes delgados ($dap = 5.7 \text{ cm} \pm 0.38 \text{ e.e.}$) y miden en promedio 10 m de altura, aparentemente de la misma cohorte. La salinidad del manto freático en época de secas es $<10 \text{ ppm}$.

4) Los bosques de *Conocarpus erectus* son escasos y reducidos debido a que muchas veces estos bosques colindan con potreros o con selva baja caducifolia que son producto de cambios de uso de suelo. En el Llano, se ubican en las partes del relieve más alto y el manto freático se llega a encontrar entre los 50 y 100 cm de profundidad. Del lado Oeste de la laguna, se pueden encontrar en las coordenadas 771937, 2176666 (19°39'60"N, 96°24'23"O) y 771448, 2174814 (19°38'60"N, 96°24'41.003"O). Del lado este, cercano a la boca de la laguna, se localiza en las coordenadas 772585, 2176511 (19°39'54.5"N 96°24'01"O), en donde crecen con el tronco principal postrado sobre el suelo del que salen otras ramas erectas con una altura promedio de $4.3 \text{ m} \pm 0.1 \text{ e.e.}$ Esta última zona presenta

signos de perturbación por tala e incendio y el mangle convive con pastos halófilos de *Spartina* sp. desarrollándose en suelos arenosos (Fig. 4b).

Los bosques mixtos en los que hay presencia de *A. germinans*, ésta se reporta como especie dominante, *L. racemosa* se establece en cuencas por debajo del nivel del inundación por donde pasan caños o canales con aportación de agua continental y *C. erectus* se mezcla con vegetación de selva baja en los terrenos más elevados. Se incluyen las siguientes asociaciones vegetales:

5) *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*,

6a) *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*

6b) *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*

7a) *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*

7b) *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*

7c) *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Esta asociación forma un bosque al suroeste de la laguna donde las cuatro especies se entremezclan entre sí. En el fragmento separado de manglar al norte de la laguna, se forman pequeños islotes monoespecíficos de cada una de estas especies. La altura promedio del bosque de esta zona es de 5 m y el nivel de inundación supera los 50 cm.

8) Bosque mixto de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y selva inundable: un sitio de composición única dentro de todo el manglar de El Llano ubicado al sureste de la laguna y a lo largo del lado este a manera de una delgada franja hacia la costa. La salinidad y profundidad del manto freático medidos en la época de lluvias fueron de 4.1 ppm y 26 cm respectivamente. El *dap* promedio de *R. mangle* es de 2.9 cm y 5 m de alto, mientras que el *dap* de *L. racemosa* es de 29.17 cm y 13 m de altura. Las especies de selva inundable

identificadas son: *Annona glabra*, *Pachira aquatica*, *Ficus* sp., *Acacia* sp., *Acrostichum aureum* y *Rhaddadenia biflora* entre otras presentes.

- *Altura, área basal y densidad*

Los valores de los parámetros dasométricos de los bosques de mangle, se reportan en las Tablas 2, 3 y 4. La mayor altura promedio entre especies la registra *L. racemosa* cuando forma bosques monoespecíficos ($9.7 \text{ m} \pm 0.3 \text{ e.e.}$) y *A. germinans* es la especie con menor crecimiento vertical en los bosques arbustivos (tipo 2a), mientras que los bosques mixtos más altos son los formados por *R. mangle*, *L. racemosa* y selva inundable (tipo 8) (Tabla 2). La altura de los árboles en los bosques monoespecíficos arbóreos es diferente a la que poseen cuando se encuentran asociados a las otras especies en los bosques mixtos, siendo los bosques tipo 6a los que muestran en promedio menores alturas de cada especie.

En la Tabla 3 se señala a *A. germinans* como la especie con mayor valor de área basal promedio cuando forma bosques monoespecíficos arbóreos (tipo 2b) y la que aporta mayor peso en los bosques mixtos, excepto en la asociación tipo 5 (*A. germinans* y *L. racemosa*) en la que *L. racemosa* es de mayor área basal ($0.013 \text{ m}^2 \pm 0.011 \text{ e. e.}$). Sin embargo, cuando *A. germinans* forma bosques monoespecíficos arbustivos (tipo 2a), es la especie con menor área basal ($0.006 \text{ m}^2 \pm 0.003 \text{ e. e.}$) de todos los bosques registrados.

Los valores de mayor densidad del bosque, corresponden a los de tipo 2b (*A. germinans* arbustivo) con $7660 \pm 925 \text{ individuos} \cdot \text{ha}^{-1}$ y las asociaciones tipo 5 (*A. germinans* + *C. erectus*) presentan la menor densidad, con un promedio de $849 \pm 215 \text{ individuos} \cdot \text{ha}^{-1}$. No se cuenta con datos sobre las áreas basales y las densidades de los

bosques monoespecíficos de *R. mangle* debido a la dificultad metodológica para distinguir entre cada individuo.

Localización y descripción de zonas de manglar conservado y perturbado

La vegetación de los bosques conservados y perturbados elegidos a la orilla de la laguna, correspondió a *R. mangle* (tipo 1), bosques mixtos de *A. germinans* y *R. mangle* (tipo 7a) y de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* (tipo 7b) (Fig. 3).

En la Figura 5 se representa la densidad por cada categoría en los sitios conservados y perturbados tanto del este como del oeste de la laguna. Se observa que agrupados por estado de conservación, el número de individuos vivos es similar en ambos sitios, siendo los conservados los que congregan más plántulas y el número de individuos dañados o muertos es menor que en los sitios perturbados. En la agrupación por orientación respecto a la laguna, los sitios ubicados al este son los de mayores densidades y que a su vez, registran mayor proporción de individuos vivos, plántulas, dañados y muertos.

La temperatura promedio en el manto freático entre los sitios conservados y perturbados del lado este y oeste, no difieren entre sí, no siendo igual con la salinidad y la profundidad del manto. La salinidad entre los sitios conservados del este y oeste es similar, a pesar de que del lado oeste de la laguna, la profundidad del manto es mayor. Los sitios perturbados de ambos lados registran salinidades marginalmente mayores a los conservados (Fig. 6).

Caracterización y determinación del éxito de sitios anteriormente aforestados

En la Tabla 5 se describen los sitios aforestados, el área reportada corresponde a la extensión destinada a la aforestación para cada uno. La densidad hipotética calculada muestra que en los sitios de menor extensión se introdujeron menor número de plántulas. La supervivencia en todos los sitios es menor al 20%. Al comparar el sitio *norte 1* con el *sur 1*, resulta el primero más afectado en supervivencia además de ser el de mayor profundidad del manto freático aunque de menor salinidad y temperatura. A la fecha, en ninguno de estos sitios se encuentran individuos supervivientes.

Propiedades del manto freático:

- Salinidad y profundidad

El análisis de las propiedades del manto freático muestra para el manglar de El Llano, una relación directa entre la salinidad y la profundidad del manto freático (Fig. 7 y 8). En los intervalos donde la profundidad del manto es somera, se reportan bajos niveles de salinidad y viceversa, tanto en época de lluvias como en secas. Durante la estación de lluvias, en general los niveles de salinidad bajan por dilución al encontrarse el manto freático a una menor profundidad. Se distinguen los siguientes grupos medidos en las épocas de *lluvias* (Fig. 7):

1) Manto freático somero (0 a 40 cm) y salinidad baja (0 a 20 ppt): se encuentran las asociaciones vegetales con mayor diversidad, es decir, los bosques mixtos de las cuatro especies de manglar junto con la selva inundable y los bosques monoespecíficos de *Laguncularia racemosa*, especie caracterizada por su preferencia a establecerse en sitios con menor salinidad.

2) Manto freático poco profundo (20 a 40 cm) y salinidad media (20 a 40 ppt): se encuentran los bosques monoespecíficos de *A. germinans*, ya sean arbóreos o arbustivos. Estos últimos se encuentran en sitios de mayor salinidad y mayor profundidad del manto freático donde el hidroperiodo suele ser corto.

3) Manto freático profundo (60 a 100 cm) y salinidad media a alta (25 a 50 ppt): se desarrollan los bosques mixtos integrados por los mangles presentes en El Llano, excepto *R. mangle*.

4) Manto freático profundo (60 cm) y baja salinidad (≥ 10 ppt): únicamente se registraron los bosques monoespecíficos de *C. erectus* asentados sobre suelos arenosos.

En la Figura 8 se reportan los niveles de inundación y su respectiva salinidad en la época de *secas*, en la que se distinguen los siguientes grupos:

1) Manto freático poco profundo (20 a 50 cm) y salinidad alta (40 a 50 ppt): a pesar de la estación, el manto freático no es muy profundo, siendo alcanzado por las raíces de *R. mangle* que forma bosques monoespecíficos. Los bosques con mayor número de individuos muertos en pie, reportan mayores niveles de salinidad con un manto freático más profundo comparándolo con los bosques vivos.

2) Manto freático profundo (60 cm) y salinidad baja (15 a 25 ppt): niveles registrados para los sitios donde se aforestó con plántulas de *R. mangle*, que al momento de este estudio, más del 80% se encontraban muertas. Los sitios que fueron anteriormente aforestados presentaron menor cantidad de salinidad que los otros bosques de *R. mangle* naturales, sin embargo la profundidad a la que se encontró el manto freático es mayor.

3) Manto freático profundo (≥ 70 cm) y salinidad alta (≥ 55 ppt): se reportan los bosques de *A. germinans* arbórea.

- *Temperatura*

Las mediciones que se hicieron de la temperatura del manto freático tanto en época de lluvias como de secas, muestran que la diferencia de los valores de las medianas entre las dos épocas es mayor a la esperada (secas= 28.0 °C, lluvias= 26.6 °C); presentan diferencias estadísticamente significativas ($U= 5.0$, $p= 0.031$) (Systat software SigmaStat 3.5).

- *Textura del suelo*

En general, del lado oeste de la laguna el suelo es arcilloso con mayor proporción de limo hacia la laguna, a la vez que disminuye en arenas hacia la misma dirección. Por el contrario, del lado este de la laguna (desde el borde más cercano al mar) el suelo es principalmente arenoso con una baja mezcla de arcillas y limos. La proporción de estas partículas orgánicas se incrementan hacia el interior de la laguna. El fragmento inundado de la parte norte presenta suelo arenoso. La textura del suelo de los sitios aforestados del *norte* areno-arcilloso y para los del sitio sur, arenoso con una baja proporción de arcillas.

Microtopografía y perfiles de vegetación de los bosques naturales

La zonación general que siguen las especies de mangle a través de los transectos, coincide en buena parte con el patrón típico al presentarse *R. mangle* a pocos metros de la orilla de la laguna donde la altura del microrrelieve es igual o cercana al nivel de embalse de la laguna, seguido por bosques de *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus* cuando las condiciones del terreno lo permiten (Fig. 9).

En el transecto de microrrelieve 1, al noreste de la laguna, se representa un bosque de *R. mangle* que termina antes de los 20 m de la orilla del agua, seguido por *A. germinans* arbórea al elevarse el microrrelieve. Al descender nuevamente el nivel topográfico, *A.*

germinans se mezcla con *C. erectus* (asociación tipo 6b. A más de 100 m de distancia del cuerpo lagunar se encuentra *A. germinans* con crecimiento arbustivo conviviendo con vegetación halófila (*Batis maritima*). A continuación, se localiza un bosque de *Conocarpus erectus* que se desarrolla por arriba de los 20 cm de microrrelieve con respecto a la laguna. Los bosques de *C. erectus* sólo se reportan para este transecto de microrrelieve, algunos de sus árboles presentan el fuste principal con crecimiento postrado y con ramificaciones verticales de bajos *dap* (< 3 cm), ocupan áreas colindantes con vegetación de selva caducifolia; como palmeras, pastos y plantas del género *Acacia*.

El transecto 2, al este de la laguna, fue el de menor longitud (menos de 60 m) y menor variación de la microtopografía, en la que se establecen bosques monoespecíficos de *R. mangle* y *A. germinans* en el borde de la laguna y después de los 40 m se encuentran asociaciones de manglar con selva inundable (Fig. 9).

El transecto 3, al sur de la laguna, representa una franja de *R. mangle* establecido por arriba de los 20 cm del nivel de la laguna, seguido de una mayor extensión de bosque mixto de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* (tipo 7b): El nivel microtopográfico es menor o similar al nivel de la laguna, lo que favorece la presencia de especies como *L. racemosa* y *R. mangle* incluso alejadas a más de 100 m del borde lagunar (Fig. 9).

Al oeste de la laguna, el transecto de microrrelieve 4 fue el de mayor longitud (320 m) y el de menor diversidad específica, ya que *A. germinans* es la especie que ocupa grandes extensiones formando bosques monoespecíficos de diferentes densidades y alturas en esta zona. Sin embargo, hacia la orilla lagunar se encuentran las especies *L. racemosa* y *R. mangle* asociadas a un canal de agua dulce con menor elevación topográfica, que se mezclan con *A. germinans* formando la asociación tipo 7b (Fig. 9).

Microtopografía de las zonas aforestadas.

Los transectos trazados de los sitios norte 1 y norte 2 son de menor extensión que los realizados en vegetación natural debido a que son zonas colindantes con asentamientos humanos o potreros. El cambio en la altura del microrrelieve es abrupto en ambos sitios. Las plántulas de *R. mangle* que a la fecha no sobrevive ninguna, se sembraron en áreas de vegetación de selva baja caducifolia y de algunos especímenes ornamentales (framboyanes y palmas) (Fig. 10).

DISCUSIÓN

El manglar que se desarrolla alrededor de la laguna de El Llano está constituido por bosques monoespecíficos que forman cada una de las cuatro especies reportadas para el área de estudio, y por bosques mixtos que se componen de dos a cuatro especies de mangle. La clasificación que se propone en este trabajo está basada en la dominancia y número de especies que integran los bosques, no responde a jerarquías de ningún tipo.

Rhizophora mangle, al ser una especie adaptada para soportar la inundación, crece en las orillas de la laguna, cerca de canales de agua hacia el interior del manglar y forma pequeños islotes en la laguneta de la parte norte. Esta especie no abarca grandes áreas, forma franjas delgadas paralelas a la laguna pues al parecer es susceptible a pequeños cambios en el microrrelieve, no se le encuentra en los altos niveles microtopográficos a menos que tenga un aporte de agua.

Los bosques monoespecíficos de *A. germinans* son los que abarcan mayores extensiones en El Llano, es la especie que está presente en todos los bosques mixtos, excepto en el bosque tipo 8, que es donde se mezcla el manglar con la selva baja, por lo que se puede decir que es la especie con mayor distribución y tolerancia a la variación de las condiciones medidas en este trabajo. A pesar de esta tolerancia, la especie no se encuentra en las mismas densidades ni formas de crecimiento en todo el manglar de El Llano, en los sitios hiperhalinos y con el manto freático a gran profundidad, crece de manera arbustiva y en vez de desarrollar un fuste principal, es multicaule con diámetros pequeños. Los bosques de manglar tipo matorral (adultos de alturas menores a 1.5 m) tienen como factor limitante la salinidad intersticial, *i. e.* causa un escaso desarrollo en la estructura forestal (Flores-Verdugo *et al.*, 1987), por lo que no se descarta que lo sea también para esta especie. Además, en estas zonas existe la presencia de vegetación halófila, lo que sería otro

indicador de las altas concentraciones de salinidad en el agua freática. Por otro lado, *A. germinans* puede formar bosques con altos y medianos doseles en aquellos lugares donde pueda obtener fácilmente el agua del manto freático con baja salinidad, como en los bosques tipo 5, 7b y 7c.

Para el manglar de El Llano, *L. racemosa* forma bosques monoespecíficos en zonas que se cree que fueron recolonizadas después de una tala de la vegetación anterior, debido a que en dichos bosques no se observa un reclutamiento de nuevos individuos y los ya establecidos forman un dosel cuya altura no tiene mucha variación. Esto se observa también en las fotografías aéreas, en las que los bosques tienen bordes rectos, lo que hace suponer que hubo un corte de la vegetación. Según Barboza *et al.*, 2006, los individuos con crecimiento multicaule de fustes delgados que ramifican desde la base deben su estructura a varias posibles razones: 1) colonización en sitios no cubiertos por manglar, donde se establece una cohorte que compite por luz, 2) estrés fisiológico debido a la salinidad y aporte hídrico del sitio, no óptimos para la especie y 3) estrés causado por herbivoría o daño antrópico. La especie está presente en los microrrelieves 2, 3 y 4 en zonas donde el nivel topográfico está cercano o por debajo del nivel de la laguna; en sitios que tienden a acumular agua dulce por escurrimientos terrestres o con baja profundidad del manto freático y bajas concentraciones de sal.

Conocarpus erectus está poco representado en el manglar de El Llano. Pueden ser varios factores los implicados, entre ellos está el cambio de uso de suelo, debido a que ésta la especie que se establece hacia terrenos menos salinos, más elevados y por lo tanto con menor influencia mareal (pero que tienen el manto freático cerca de los 60 cm de profundidad aún en época de lluvias), ocupa áreas demandadas para actividades agropecuarias, habitacionales u otras. En estos bosques se observó evidencias de quemadas,

talas clandestinas y rellenos con sustratos provenientes de otras regiones. Otras causas probables es que al extenderse hacia terrenos continentales compite con otro tipo de vegetación.

En el lado este de la laguna, cerca de la boca, En el manglar del sur de la laguna se encuentran las cuatro especies de mangles en una asociación poco común para el manglar de El Llano, con dominancia de *A. germinans*.

En general, existe una relación directa entre la profundidad del manto freático y la salinidad, siendo en época de secas que al incrementarse la temperatura ambiental se propicia la evaporación del agua que pudo haber estado inundando el manglar después de lluvias o directamente desde el manto freático; lo que a su vez aumenta la salinidad. Al ser una laguna temporal debido al bajo aporte de la cuenca hídrica y la baja precipitación pluvial, no permanece inundada durante los meses de secas, evaporándose completamente el agua y formando una delgada capa de sal sobre el sustrato. Esto provoca que al inicio de la época de lluvias, no se disminuya la concentración de salinidad, sin considerar que la misma forma “vesicular” de la laguna no propicia un flujo hídrico óptimo hacia el sur, manteniendo una condición estresante sobre las plantas por falta de agua y exceso de sal.

Se puede decir que la temperatura del manto freático se mantiene constante a lo largo del año, esto puede deberse a las propiedades mismas del agua. Para el manglar de El Llano, se descarta que sea una condición determinante de la distribución y fisonomía de las especies, sin embargo se sabe que está relacionada con las capacidades del agua para la disolución de sales.

A pesar de que el estudio del suelo en este trabajo se limitó a definir la textura, se rescata que el lado oeste de la laguna, que está hacia tierras continentales, recibe mayor aporte de partículas finas que retienen la humedad y tiene mayores aportes orgánicos como

limos y arcillas provenientes de los aportes cuenca arriba. El lado este, por el contrario, recibe aportes de restos marinos que se transforman en arenas, partículas de mayor grosor que no retienen el agua ni nutrientes. Estas diferencias pueden explicar por qué el manglar del lado este es sólo una delgada franja alrededor de la laguna y por qué el lado oeste es más diverso y extenso. Hacia el sureste, junto a la ladera de una duna estabilizada, el manglar logra extenderse pues coincide con vegetación de selva baja inundable que podría estarle aportando agua y nutrientes mediante la hojarasca.

Al relacionar la textura del suelo con los censos de sitios conservados y perturbados, se percibe que en el lado este, proporcionalmente más arenoso, se ubican las franjas de mangle con más individuos dañados o muertos en pie. Esto podría estar relacionado con lo ya mencionado sobre las características físicas de las partículas del suelo para retener el agua, a pesar de que del lado este de la laguna el manto freático es menos profundo.

Debido a la total mortandad de las plántulas de mangle introducidas en El Llano por la mala estrategia de restauración ecológica, se determina que bastó un año de haber sido efectuada para determinar el fracaso de este esfuerzo. Numerosos proyectos de reforestación fallan por la plantar especies inadecuadas en localidades inapropiadas; derivado de la falta de entendimiento de los propios procesos de restauración (Lewis, 2005). Las áreas que fueron aforestadas en El Llano no tuvieron éxito, en gran parte, por una mala ubicación. Los sitios al sur de la boca de la laguna estuvieron en el paso del ganado bovino, por lo que todas las plántulas fueron ingeridas por éstos animales. Del lado norte de la boca, se introdujeron las plántulas de mangle en zonas que naturalmente son colonizadas por especies de selva baja, la altura del microrrelieve no permitió la influencia mareal hasta la zona aforestada, contrastando con los bosques naturales de *R. mangle* en los

que el microrrelieve no supera los 20cm sobre el nivel de la laguna. Además, en las zonas aforestadas se encontró el manto freático a más de 1m de profundidad, ocasionando también la muerte de las plántulas, a las que tampoco se les proporcionó riego artificial como paliativo al estar en esta elevada zona. El conocimiento de los principales parámetros fisicoquímicos ofrece claves invaluable para el manejo de cuencas y ecosistemas costeros (Contreras-Espinosa y Castañeda-López, 2004).

CONCLUSIONES

En la laguna de El Llano, se encuentran las cuatro especies de mangle más comunes para México: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*.

Se caracterizaron 12 comunidades de manglar en 108 hectáreas, cinco monoespecíficas y siete mixtas; éstas últimas dominadas por *Avicennia germinans* cuando se encuentra presente.

Los bosques de *A. germinans* ocupan la mayor extensión de manglar en El Llano respecto a los otros bosques. Los de *C. erectus* son los menos representados.

Las especies de mangle se distribuyen y forman asociaciones entre sí dependiendo de los factores ambientales. Hay una relación directa entre la profundidad del manto freático y la salinidad, la cual puede limitar la estructura de los individuos y la composición florística de los bosques mixtos de este manglar.

La distribución, diversidad y estado de conservación de los manglares están asociados a la textura de los suelos y su ubicación.

Hay más perturbación en los bosques al este de la laguna.

La aforestación anterior falló principalmente porque las plántulas se ubicaron en sitios con suelos arenosos, altos y por lo tanto, sin posibilidades de ser inundados. Se sembró *Rhizophora mangle* en lugar de *Conocarpus erectus*, que es la especie que pudiera tener un mejor desarrollo en esos sitios.

La integración en un sistema de información geográfica (SIG) de la información espacial junto con la verificación en campo, permite proponer alternativas para su conservación, manejo y/o restauración.

PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL MANGLAR EN EL LLANO

Existen planes de restauración ecológica que se han presentado para la rehabilitación de las condiciones naturales del cuerpo de agua en El Llano, cuyo objetivo principal es pasar de los casi siete meses en los que la laguna permanece sin agua a que permanezca inundada todo el año. Uno de ellos, presentado ante el gobierno estatal en el año 2006, se evaluó en más de 91 millones de pesos mexicanos (*Universo*, 2006). El proyecto incluye el dragado de la laguna, el llenado de ésta por medio de una toma de agua de mar subterránea (la cual incrementa los costos) y algunos proyectos sociales; sin embargo, no se cuentan los costos de la restauración del manglar en el presupuesto proyectado. Es probable que la aforestación que esta tesis evalúa, haya sido una fase inicial o experimental del plan integral.

Las probables causas (no consideradas en la aforestación del estudio de caso) que esta investigación sobre la distribución y fisonomía del manglar ha logrado establecer para El Llano, son múltiples pero consideradas como básicas y elementales para incrementar el éxito de cualquier programa de reforestación o aforestación, por lo que en esta tesis no se establecen costos monetarios, se emiten las siguientes recomendaciones:

1) Elección adecuada del sitio a reforestar

La construcción de un mapa de vegetación como el presentado en este trabajo permite conocer la historia del lugar, la diversidad de especies y asociaciones vegetales que se forman dependiendo de variables que determinan su establecimiento y crecimiento. Se deben considerar los parámetros ambientales y el funcionamiento de la hidrología del sitio donde se quiere reforestar para saber si es el ideal para la especie que se quiere

introducir. La reforestación directa es viable en zonas donde las condiciones ambientales no han sido modificadas.

2) *Elección adecuada de la especie a introducir*

La descripción del microrrelieve permite conocer los pequeños cambios topográficos que junto con otras variables, promueve el establecimiento o no de las distintas especies de mangle. Es posible que de haber elegido a *C. erectus* como especie para aforestar, en vez de *R. mangle* para los sitios elevados, la supervivencia se hubiera incrementado pues es una especie que se establece tierra adentro en zonas de baja o casi nula influencia mareal y baja salinidad.

3) *Elección adecuada de la procedencia y tipo de material vegetal*

Las plántulas provenientes de viveros requieren de un periodo de adaptación en el que semejan las condiciones del sitio destino para así incrementar su supervivencia. En el caso de las especies de manglar, debe considerarse con mayor interés pues en este caso, la laguna de El Llano presenta altas concentraciones de salinidad, con lo que tendría que asegurarse la adaptación de la especie a introducir hasta esos niveles de salinidad. En el caso de propágulos o plántulas provenientes del mismo sitio en el que se va a reforestar, la preparación del material vegetal puede hacerse *in situ*, esto aseguraría una mayor supervivencia. Las plantas de mangle criadas en vivero sólo deberían ser sembrados cuando los procesos de reclutamiento natural sean inadecuados en el sitio y hayan sido restablecidas las condiciones hidrológicas (Lewis, 2005).

4) *Elección de la época de siembra*

Como se ha descrito, la laguna de El Llano es estacional. Cada especie de mangle tiene sus propios requerimientos hidrológicos, algunas necesitan condiciones de inundación hasta ciertos niveles para poder establecerse y sobrevivir, pero no soportan periodos muy largos ni de inundación ni de sequía. El conocimiento de los aportes de agua dulce tanto superficiales como subterráneos, así como del intercambio de mareas, incrementa las probabilidades de éxito de la restauración.

5) *Seguimiento a largo plazo del proyecto*

A pesar de que se realizan continuos esfuerzos de restauración ecológica en diversos ecosistemas, son escasos los reportes que existen en donde se le dé continuidad al proyecto, tiempo después de realizarse la actividad. Menos aún se reportan estudios que hayan fracasado. Esto sería de suma importancia para las presentes y futuras investigaciones para la evolución de las técnicas y métodos en la restauración ecológica. Las visitas periódicas al sitio de las plantaciones son necesarias para establecer tendencias y monitorear los avances de la restauración, identificar los factores que afecten la supervivencia y diseñar estrategias de prevención de daños. Se debe considerar además, los casos en los que por bajos índices de supervivencia se requiera una plantación adicional (Herrera-Silveira, *et al.*, 2010).

La restauración/rehabilitación de humedales tiene un entendimiento más empírico que científico, la ciencia contribuye a la documentación de los fracasos y éxitos pasados y futuros para adaptar las técnicas de un humedal a otro (Turner y Lewis, 1997).

Es necesario señalar que ninguna de estas recomendaciones por sí solas asegura el éxito de los programas de restauración. Existe un conjunto de variables ambientales y bióticas

entrelazadas que se deben considerar en los planes de restauración. Los alcances de este trabajo se limitan a proponer una serie de metodologías descriptivas de una investigación que se haría previamente en proyectos de restauración ecológica, manejo forestal u ordenamiento territorial. Permite conocer la historia del sitio y las causas de la pérdida del manglar.

Es posible que, la rehabilitación hidrológica (la reparación de los flujos hídricos) en El Llano, sea la actividad primordial para lograr el restablecimiento del manglar en las áreas afectadas sin que sean necesarias acciones de siembra y que la vegetación se recupere de manera natural. Sin embargo, la conservación de esta vegetación depende de los usos que los habitantes de la localidad hacen de ella. La educación ambiental dirigida a todos los sectores de la población disminuye el riesgo de pérdida de cobertura y funcionamiento ecológico de los manglares al eliminar o estabilizar las causas.

LITERATURA CITADA

- Agraz-Hernández, C. M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F. J. Flores-Verdugo, J. J. Jiménez-Zacarías. 2006. *Guía de campo. Identificación de los Manglares en México*. Universidad Autónoma de Campeche. México. 45 pp.
- Barboza, F., M. B. Barreto, V. Figueroa, M. Francisco, A. González, L. Lucena, K.Y. Mata, E. Narváez, E. Ochoa, L. Parra, D. Romero, J. Sánchez, M. N. Soto, A. J. Vera, A. L. Villarreal, S. C. Yabroudi y E. Medina. 2006. Desarrollo estructural y relaciones nutricionales de un manglar ribereño bajo clima semi-árido. *Ecotrópicos* 19(1):13-29.
- Champan, V. J. 1976. *Mangrove vegetation*. J. Cramer. Alemania. 447 pp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2011. *Reconoce la Convención Ramsar el trabajo de México en la conservación de humedales*. Comunicado de prensa. México, D. F., 1 de febrero de 2011. http://www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id_subcontenido=845
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). 2007. *Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: Ira. etapa*. México. 70 pp.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. 2009. *Manglares de México: Extensión y Distribución*. CONABIO. México. 2ª edición, 99 pp.
- Convención Ramsar sobre los Humedales. 1971. *Ramsar Information Paper no. 5: The Criteria for Identifying Wetlands of International Importance*. Irán. 2 pp.
- Contreras-Espinosa, F. 1985. *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México. 263 pp.

- Contreras-Espinosa, F. y O. Castañeda-López. Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos. Pp. 373- 416. *En*: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.). 2004. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. 1^{ra} ed. INE-SEMARNAT, INECOL, Harte Search Institute for Gulf of Mexico studies. México. 626 pp.
- Contreras-Espinosa, F. y B. G. Warner. 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia* **511**: 233–245.
- Cottam, G. y J.T. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* **37** (3). 451-460.
- Covington W., W. A. Niering, E. Starkey y J. Walker. 1998. *Ecosystem Restoration and Management: Scientific Principles and Concepts*. Southern Research Station.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc). 2002. ArcView GIS ver. 3.3.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc). 2006. ArcInfo GIS ver. 9.2.
- Flores-Verdugo, F., J.W. Day Jr. y R. Briseño-Dueñas. 1987. Structure, litter fall, decomposition and detritus dynamics of mangroves in a mexican coastal lagoon whit an ephemeral inlet. *Marine ecology - progress series* **35**: 83-90.
- Flores-Verdugo, F., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz-Hernández, H. López-Rosas, D. Benítez-Pardo, A.C. Travieso-Bello. 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. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Ed. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217pp.
- García-Márquez, F. 1984. *Topografía Aplicada*. Editorial Concepto. México, 200 pp.

- Glossary of Environment Statistics. 1997. Studies in Methods, Serie F, No. 67, Naciones Unidas. Nueva York, E. U. A.
- Gómez Aguilar, L. R. 2006. Relación de las características fototonaes de fotografías aéreas con la fisonomía de la vegetación de manglar en el río Arroyo Moreno, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Xalapa. México. 69 pp.
- Herrera-Silveira, J. A., E. A. Ciau-Cardozo, T. Miyagi, K. Tsuruda. 2010. *Manual práctico para la rehabilitación del ecosistema de manglares en Yucatán, México*. 3ª ed. Reserva de la Biósfera Ría Celestún. JICA. CONANP. 117 pp.
- Holguín, G., P. González-Zamorano, L. E. de-Bashan, R. Mendoza, E. Amador y Y. Bashan. 2006. Mangrove health in an arid environment encroached by urban development—a case study. *Science of the Total Environment* **363**: 260-274.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México. Dirección Nacional de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas.
- Jiménez, J. A. 1985a. *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. White Mangrove. Departamento de Agricultura, Servicios Forestales, Estación experimental de bosques del sureste. Nueva Orleans, E. U. A. 4 pp.
- Jiménez, J. A. 1985b. *Rhizophora mangle* L. Red mangrove. Departamento de Agricultura, Servicios Forestales, Estación experimental de bosques del sureste. Nueva Orleans, E. U. A. 7 pp.
- Jiménez, J. A., A. E. Lugo. 1985. *Avicennia germinans* (L.). Departamento de Agricultura, Servicios forestales, Estación experimental de bosques del sureste. Nueva Orleans, E. U. A. 6 pp.

- Kairo, J.C., F. Dahdouh-Guebas, J. Bosire y N. Koedam. 2001. Restoration and management of mangrove systems — a lesson for and from the East African region. *South African Journal of Botany* **67**: 383–389.
- Kathiresan K. y B.L. Bingham. 2001. Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology* **40**: 81-251.
- Krauss K. W. y J. A. Allen. 2003. Influences of salinity and shade on seedling photosynthesis and growth of two mangrove species, *Rhizophora mangle* and *Bruguiera sexangula*, introduced to Hawaii. *Aquatic Botany* **77**: 311-324.
- Lankford, R. R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classifications. Pp. 182-215. En: Wiley, M. (ed). *Estuarine processes*. Volumen II. Academic Press. Nueva York, E. U. A.
- Lewis, R. R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering* **24**: 403–418
- Loa-Loza, E. 1994 Los manglares de México: sinopsis general para su manejo. Pp. 144-151. En: Suman, D. O. (ed.) *El ecosistema de manglar en la cuenca del Caribe: su manejo y conservación*. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. University of Miami and the Tinker Foundation. Nueva York, E. U. A.
- López-Portillo, J.A. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y bosques* (número especial): 27-51.
- López-Valles, J. M., A. Fernández-Caballero y M. A. Fernández. 2005. Conceptos y técnicas de estereovisión por computador. *Inteligencia artificial* **27**: 35-62.
- Lot-Helgueras, A., C. Vázquez-Y. y F. L. Menéndez. 1975. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf Coast of Mexico. Pp. 52-61. En: Walsh, G. E., S. C. Snedaker y H. T. Teas (eds.). *Proceedings of the*

- International Symposium on Biology and Management of Mangroves*. Volumen I. Universidad de Florida. Gainesville. E. U. A.
- Lugo, A. 1980. Mangrove ecosystems: successional or steady state? *Biotropica* **12**: 65-72.
- Lugo A. E. y S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and System* **5**: 39-64.
- Mangrove Conservation Project (MAP). 2010 (consulta). www.mangroveproject.org
- McKee, K. L. 1993. Soil physico-chemical patterns and mangrove species distribution: Reciprocal effects? *Journal of Ecology* **81**: 477-487.
- Méndez-Alonzo R., J. A. López-Portillo y V. H. Rivera-Monroy. 2008. Latitudinal variation in leaf and tree traits of the mangrove *Avicennia germinans* (Avicenniaceae) in the central region of the Gulf of Mexico. *Biotropica* **40**: 449–456.
- Méndez-Linares, A. P. 2003. Fisonomía y estructura de diferentes asociaciones de manglar y su relación con la geomorfología del abanico deltaico de Arroyo Seco, Jalisco. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Moberg, F., y P. Rönnbäck. 2003. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management* **46**: 27-46.
- Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas de León y H. Velasco-Mendoza. La hidrodinámica del Golfo de México. Pp. 47-68. *En*: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.). 2004. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. 1ª ed. INE-SEMARNAT, INECOL, Harte Search Institute for Gulf of Mexico studies. México. 626 pp.
- Monroy-Ibarra, R. C. y A. C. Travieso-Bello. 2006. Herramientas técnicas para la planificación: índices, mapas, bases de datos y sistemas de información geográfica.

- Pp. 569-680. *En*: Moreno-Casasola P., E. Peresbarbosa, A. C. Travieso-Bello (eds). 2006. Volumen II. *Estrategias para el manejo costero integral: el enfoque municipal*. Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Xalapa. México. 1266 pp.
- Monroy-Torres, M. 2005. Distribución de tres especies de manglar en relación al hidroperíodo y salinidad intersticial en el Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. Tesis Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Ciencias. México.
- Moreno-Casasola, P., J. L. Rojas-Galaviz, D. Zárate Lomelí, M. A. Ortiz-Pérez, A. L. Lara Domínguez, T. Saavedra Vázquez. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculos con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y bosques* (número especial): 61-88.
- Morrisey, D. J, A. W. Swales, S. Dittmann, M. A. Morrison, C. E. Lovelock y C. M. Beard. 2010. The ecology and management of temperate mangroves. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* **48**: 43-160.
- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. *Adición a la especificación 4.43, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar*. Diario Oficial de la Federación del 7 de mayo de 2004.
- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. *Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar*. Diario Oficial de la Federación del 10 de abril de 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. *Protección ambiental –especies nativas de México de flora y fauna silvestres- categorías de riesgo y especificaciones para*

- su inclusión, exclusión o cambio- lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación del 6 de marzo de 2002.
- Plata, J. C. 2005. Trabajan estudiantes de la UV en rescate de la laguna El Llano. Lista de acciones prioritarias para la conservación de la laguna El Llano de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Tinajitas y El Viejón”. *En: Universo*, el periódico de los universitarios. 2005 (26 de septiembre). Año 5. No. 194. Universidad Veracruzana. Dirección de comunicación social Xalapa, Veracruz. <http://www.uv.mx/universo/194/ser/ser05.htm>
- Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedlings in Panama, and a hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography*, **5**: 113-133.
- Ramírez-García, P y A. Lot-Helgueras. 1994. La distribución del manglar y de los “pastos marinos” en el Golfo de California, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica* **65**: 63-72.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Diario Oficial de la Federación del 5 de mayo de 2000.
- Rico-Gray, V. 1979. El manglar de la laguna de la mancha, Ver., estructura y productividad neta. Tesis Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Ciencias. México.
- Ruiz-Luna, A., J. Acosta-Velázquez y C.A. Berlanga-Robles. 2008. On the reliability of the data of the extent of mangroves: A case study in Mexico. *Ocean and Coastal Management* **51**: 342-351.
- Rzedowski, J. y G.C. de Rzedowski. 1985. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Tomo II. ENCB –IPN e Instituto de Ecología, D. F. México. 674 pp.

- Saavedra-Vázquez, T. E. 2006. Marco normativo para el manejo de la zona costera en México. *En*: Moreno-Casasola P., E. Peresbarbosa, A. C. Travieso-Bello (eds). 2006. *Estrategias par el manejo costero integral: el enfoque municipal*. Volumen 2. Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Xalapa, Ver. México. 604-644.
- Segura-Zamorano, D. T. 1997. Análisis de la estructura del manglar y su relación con algunos parámetros ambientales en la Laguna Panzacola, municipio de Acapetahua, Chiapas. Tesis Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México.
- SER (Society for Ecological Restoration) International. Science & Policy Working Group. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. 15 pp.
- Systat software, Inc. 2006. SigmaStat for Windows ver. 3.5.
- Snow, A. A. y S. W. Vince. 1984. Plant zonation in an Alaskan Salt Marsh: II. An Experimental Study of the Role of Edaphic Conditions. *The Journal of Ecology*, **72**, (2): 669-684.
- Thom, B.G. 1967. Mangrove ecology and deltaic geomorphology: Tabasco, Mexico. *Journal of Ecology* **55**: 301-343.
- Tomlinson, P.B. 1986. The botany of mangroves. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido, 413 pp.
- Turner, R. E. y R. R. Lewis. 1997. Hydrologic restoration of coastal wetlands. *Wetlands Ecology and Management* **4**: 65-72.
- Universo, el periódico de los universitarios. 2006 (19 de junio). Presenta UV plan integral para rescatar la laguna El Llano. Año 6. No. 227. Universidad Veracruzana.

Dirección de comunicación social. Xalapa, Veracruz.

<http://www.uv.mx/universo/227/reportaje/reportaje.htm>

- Valdez-Hernández, J. I. 1991. Estructura fisonómica del bosque de mangles de la Laguna de Agua Brava, Nayarit. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 263 p.
- Yáñez-Arancibia, A. 1986. *Ecología de la zona costera*. Análisis de siete tópicos. A. G. T. Editor. México, 189 pp.
- Ye, Y., N. F.Y. Tam, C.Y. Lu, y Y.S. Wong. 2005. Effects of salinity on germination, seedling growth and physiology of three salt-secreting mangrove species. *Aquatic Botany* **83**: 193–205.
- Young, B. M. y Harvey, L. E. 1996. A spatial analysis of the relationship between mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) physiognomy and sediment accretion in the Hauraki plains, New Zeland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **42**: 321-246.

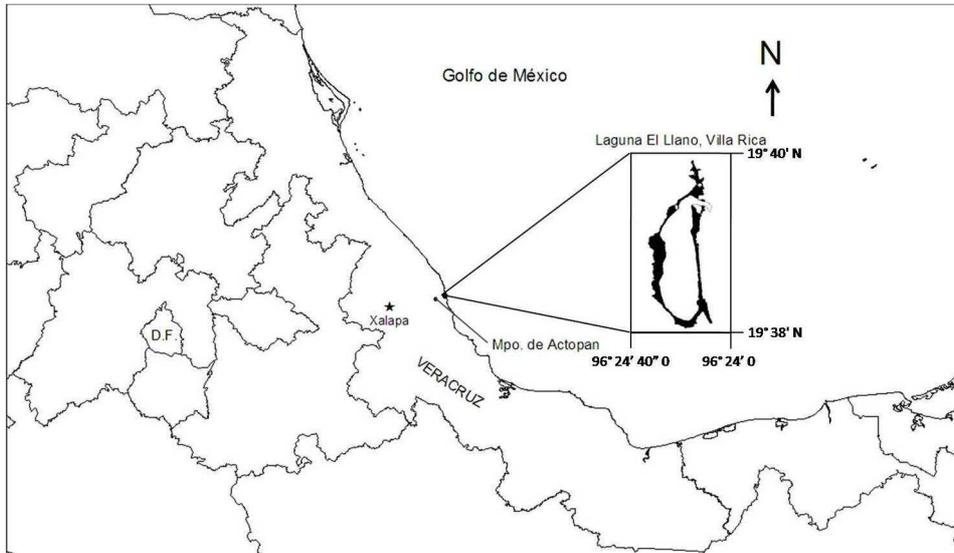


Figura 1. Localización geográfica de la laguna costera El Llano en el estado de Veracruz, México.

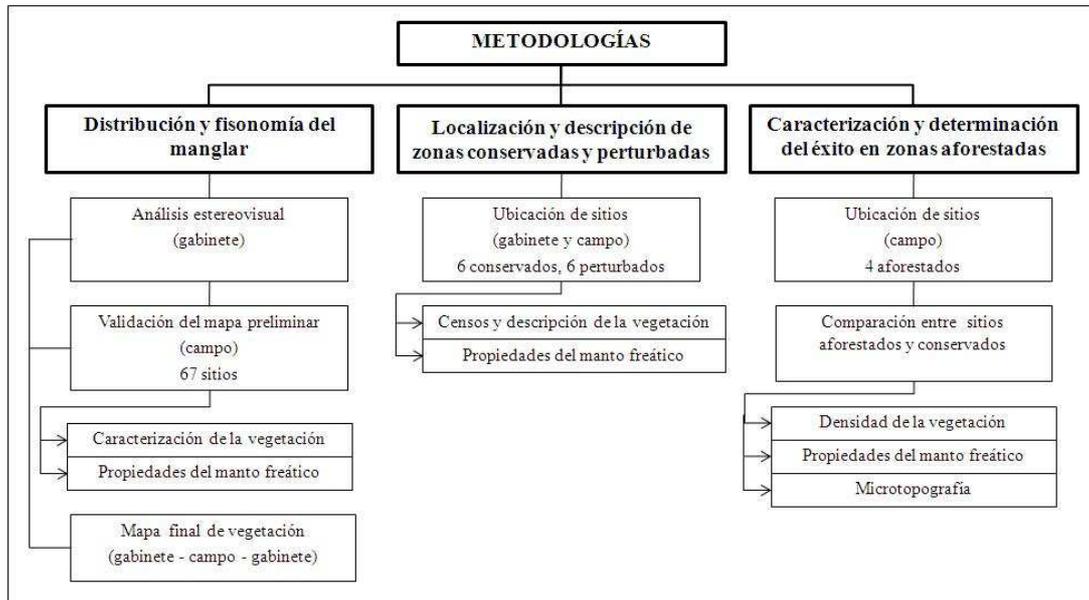


Figura 2. Diagrama de flujo que indica los métodos realizados para cubrir los objetivos particulares de este trabajo.

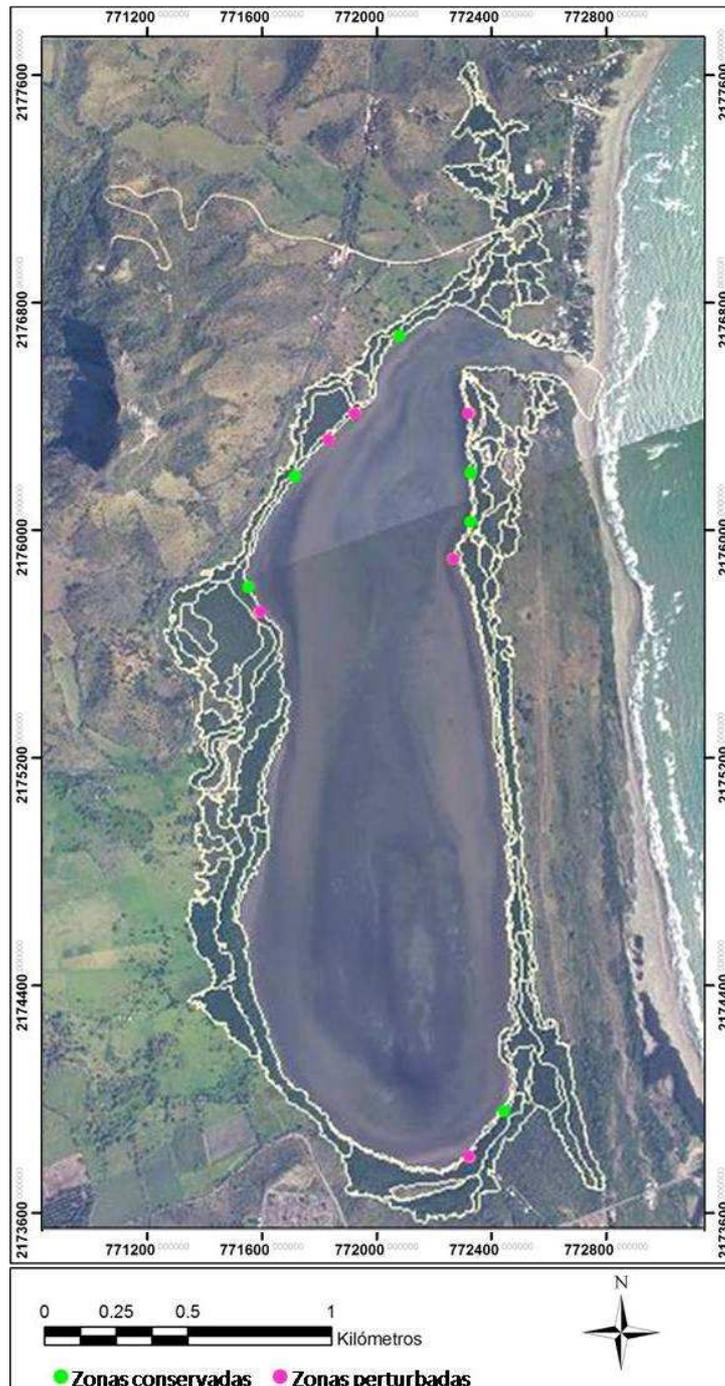


Figura 3. Ubicación de los doce sitios de manglar conservados y perturbados elegidos a la orilla de la laguna en El Llano, Ver.

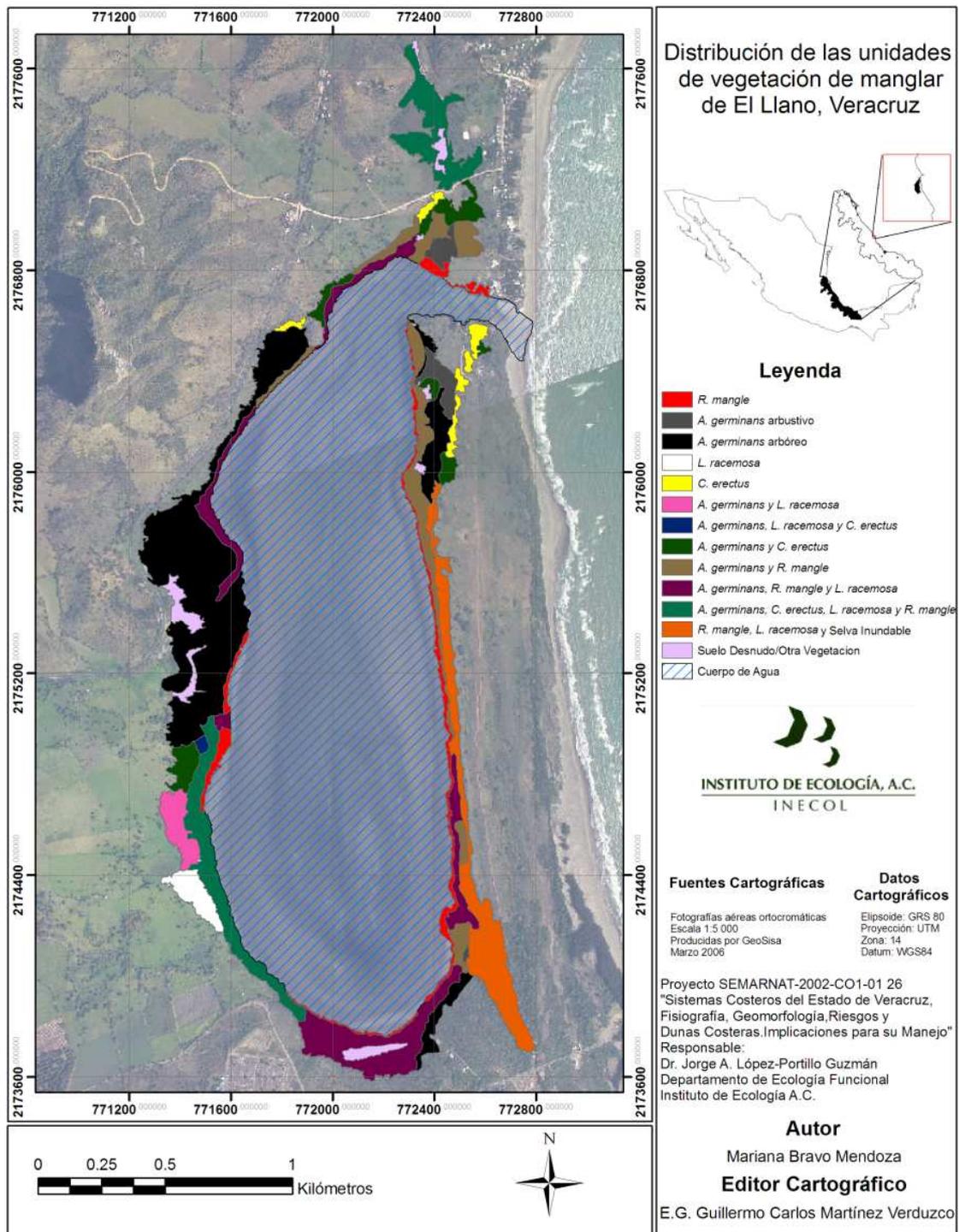


Figura 4a. Mapa de distribución de las unidades de manglar en la laguna de El Llano, Ver.

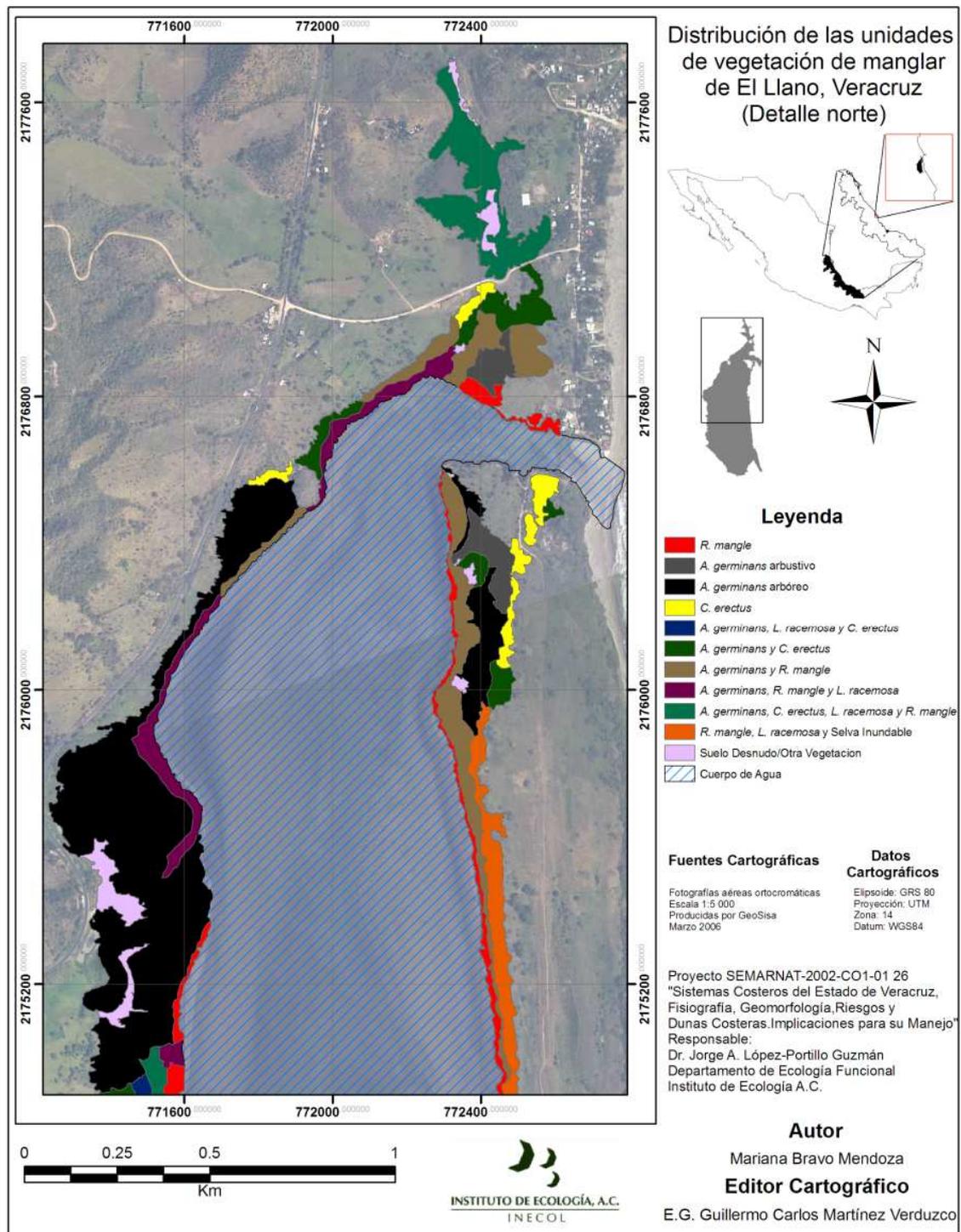


Figura 4b. Mapa de distribución de las unidades de manglar en la porción norte de la laguna El Llano, Ver.

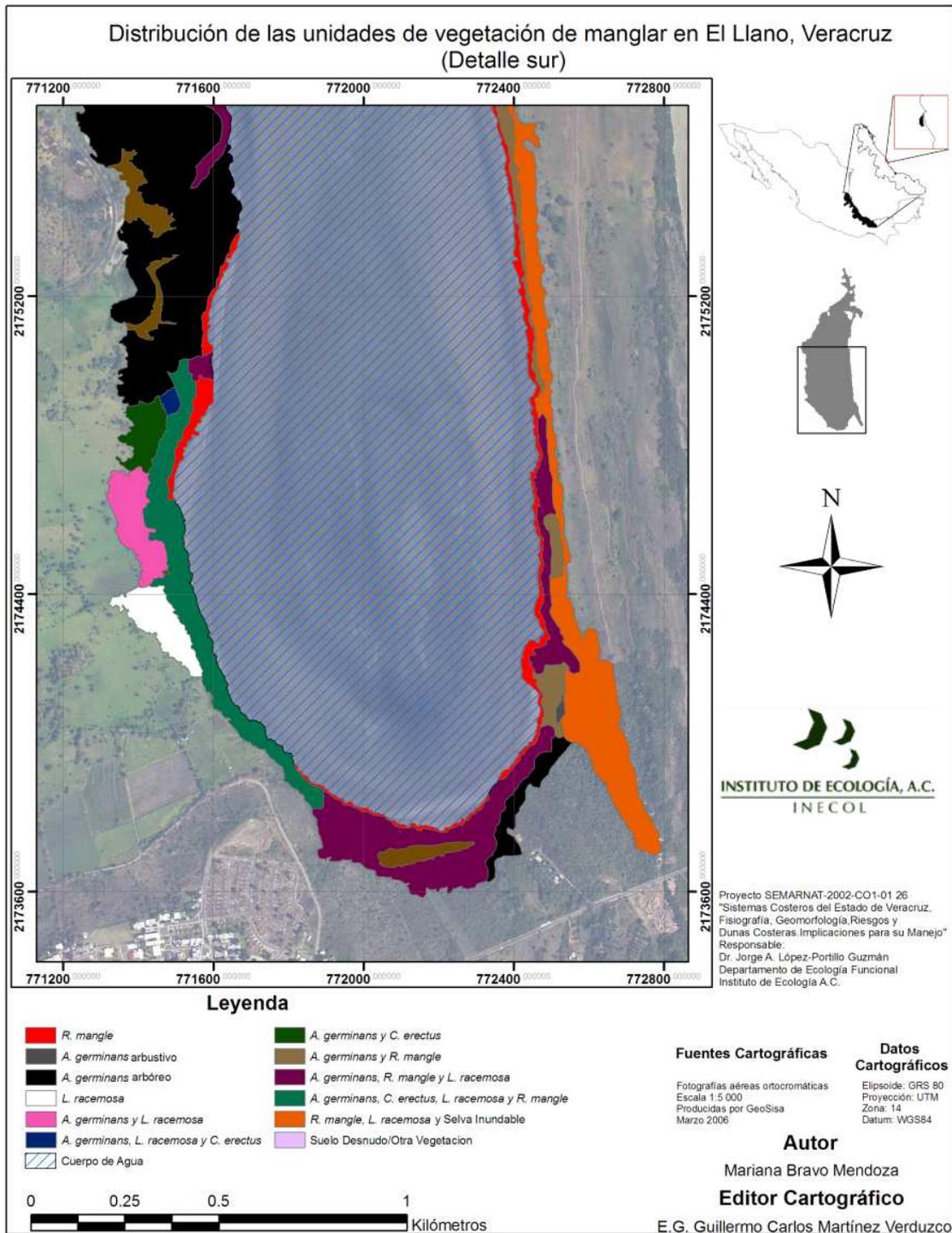


Figura 4c. Mapa de distribución de las unidades de manglar en la porción sur de la laguna El Llano, Ver.

Densidad de los sitios conservados y perturbados en el este y oeste de la laguna de El Llano, Ver.

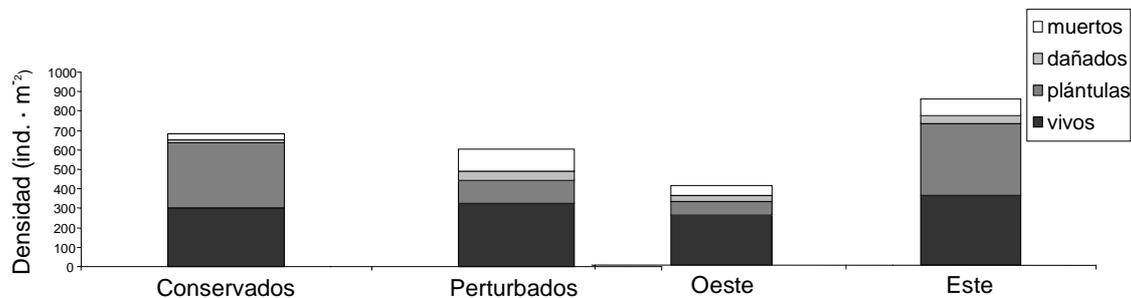


Figura 5. Comparación de la densidad en los sitios de bosques de mangle conservados y perturbados en el oeste y este de la laguna El Llano, Ver. Censos realizados en abril de 2006.

Parámetros ambientales en sitios conservados y perturbados del este y oeste del manglar en El Llano, Ver.

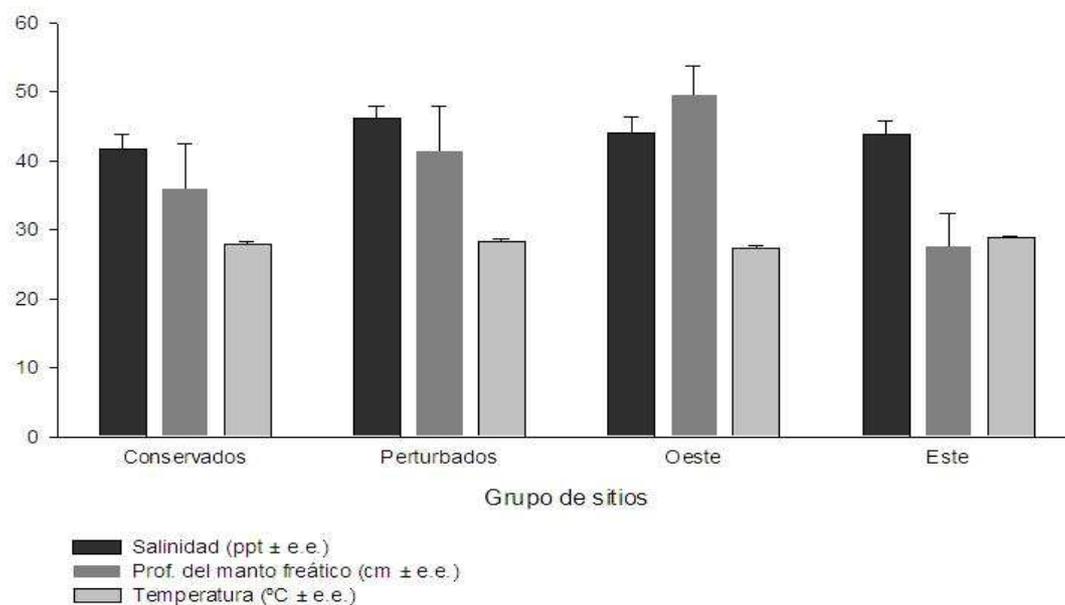


Figura 6. Comparación de los valores de salinidad, temperatura y profundidad del manto freático en los sitios con bosques conservados y perturbados en el oeste y este de la laguna El Llano, Ver.

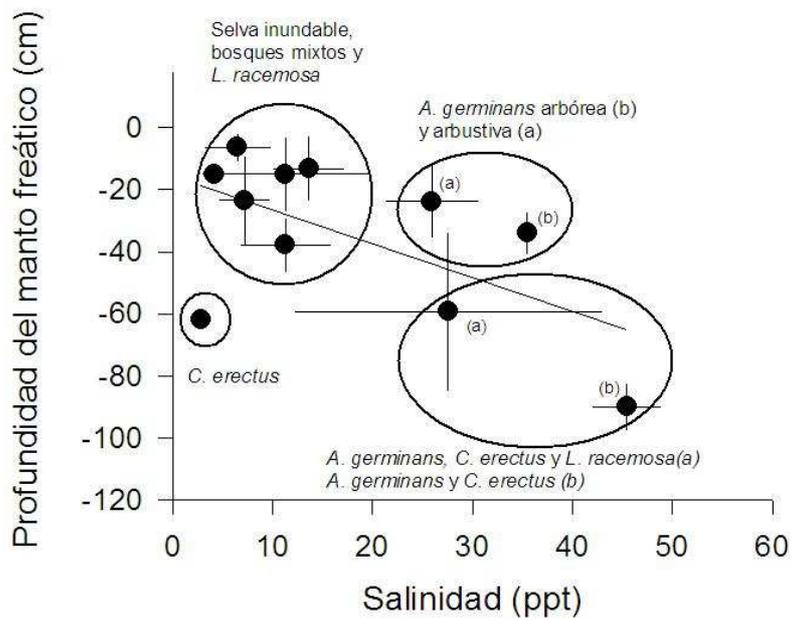


Figura 7. Salinidad y profundidad del manto freático registrados en época de lluvias para diferentes asociaciones de manglar en El Llano, Ver.

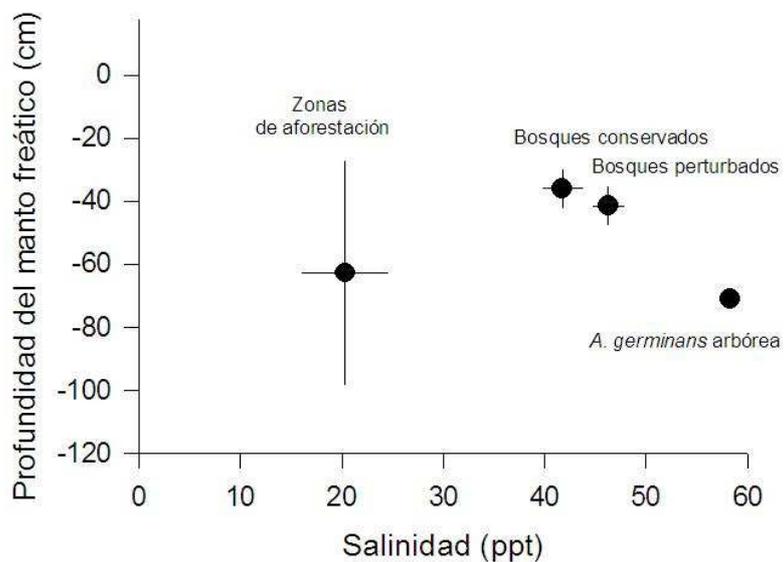


Figura 8. Salinidad y profundidad del manto freático registrados en época de secas para diferentes asociaciones de manglar en El Llano, Ver., se incluyen los sitios aforestados, los bosques de *R. mangle* conservados y perturbados.

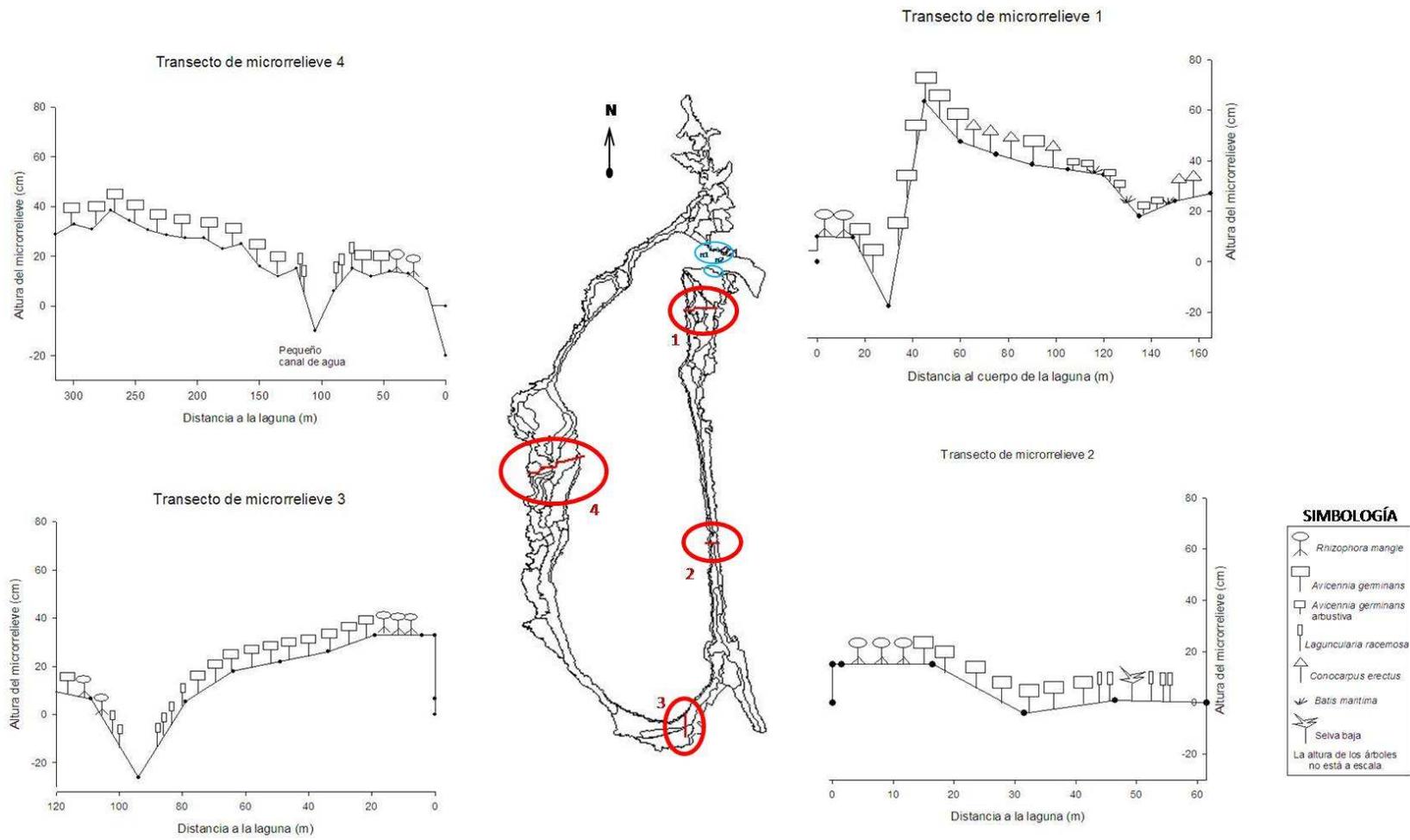
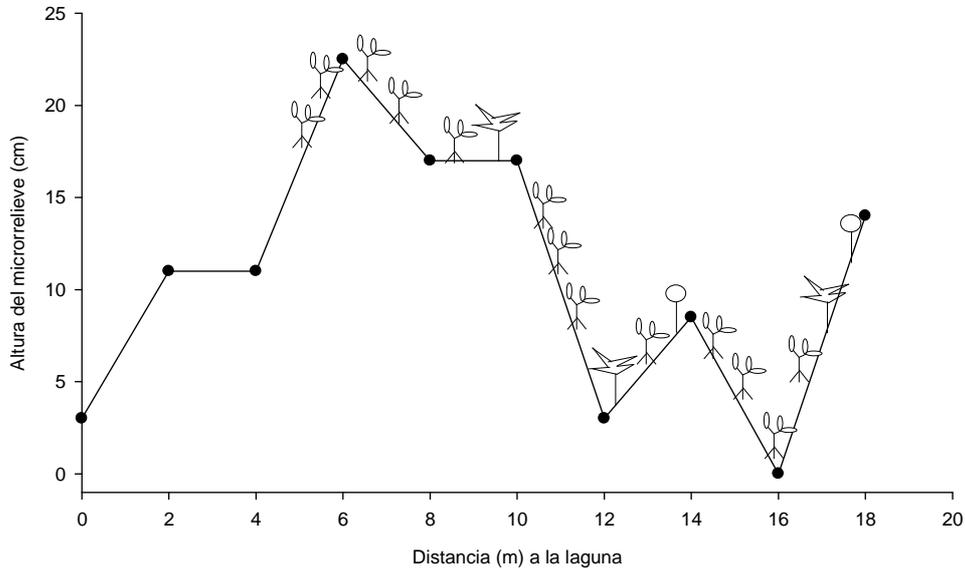


Figura 9. Ubicación y representación de los transectos de microrrelieve realizados en el manglar de El Llano, Ver. En color azul se señalan las zonas aforestadas, con dos transectos: norte 1 (n1) y norte 2 (n2).

Transecto de microrrelieve del sitio aforestado norte 1



Transecto de microrrelieve del sitio aforestado norte 2

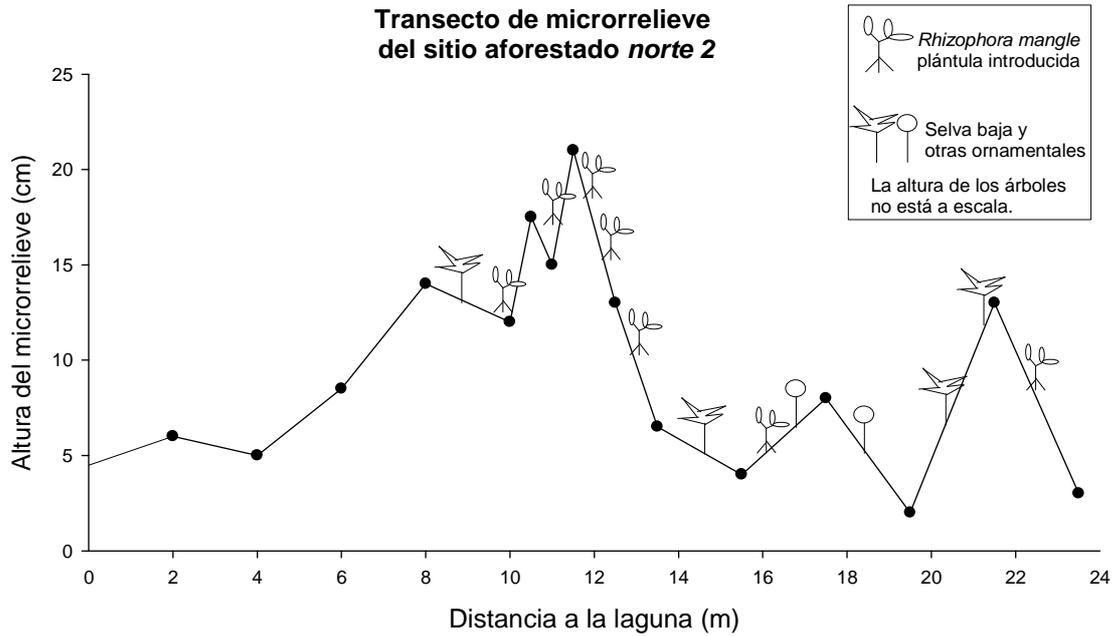


Figura 10. Transectos de microrrelieve de los sitios aforestados *norte 1* y *norte 2* con plántulas de *R. mangle* en El Llano, Ver.

Tabla 1. Bosques de manglar identificados en la laguna de El Llano, clave de identificación, número de fragmentos o parches que las componen, área que ocupan, porcentaje que ocupan respecto al área total y algunos datos de su forma de vida.

Tipo de bosque	Especies que lo componen y clave de la asociación	Clave	Número de fragmentos	Área (ha)	Porcentaje del área total (%)	Forma de vida
Monoespecíficos	<i>R. mangle</i>	1	7	5.78	5.53	Arbórea
	<i>A. germinans</i>	2a	5	3.02	2.89	Arbustiva
		2b	25	35.35	33.85	Arbórea
	<i>L. racemosa</i>	3	1	3.68	3.52	Arbórea multicaule
	<i>C. erectus</i>	4	7	2.44	2.34	Arbórea. Algunos con crecimiento postrado
Mixtos	<i>A. germinans</i> * y <i>L. racemosa</i>	5	1	2.63	2.52	Arbórea. *Dominante
	<i>A. germinans</i> *, <i>C. erectus</i> y <i>L. racemosa</i>	6a	1	0.28	0.27	Arbórea. *Dominante
	<i>A. germinans</i> * y <i>C. erectus</i>	6b	8	5.59	5.35	Arbórea. *Dominante
	<i>A. germinans</i> * y <i>R. mangle</i>	7a	9	10.12	9.69	Arbórea. *Dominante
	<i>A. germinans</i> *, <i>R. mangle</i> y <i>L. racemosa</i>	7b	7	15.34	14.69	Arbórea. *Dominante
	<i>A. germinans</i> , <i>R. mangle</i> , <i>L. racemosa</i> y <i>C. erectus</i>	7c	3	13.58	13.00	Arbórea. Se incluyen los islotes del fragmento norte
	<i>R. mangle</i> , <i>L. racemosa</i> y selva inundable.	8	3	6.63	6.35	Arbórea
	Suelo desnudo		9	2.86	2.74	A veces cubierto por herbáceas halófilas
Selva baja caducifolia entre el manglar		1	0.87	0.83	Arbórea	
Total			87	108.18	100	Los fragmentos de un mismo tipo de vegetación pueden ser contiguos o no; se distinguen entre sí por su densidad y altura del dosel

Tabla 2. Altura (m) (promedio \pm un error estándar) de las cuatro especies que componen los diferentes tipos de bosques y asociaciones de manglar en El Llano, Ver.

Tipo de bosque	Especies que lo componen	Clave	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	Por asociación	
Monoespecíficos	<i>R. mangle</i>	1	5.0	-	-	-	5.0	
	<i>A. germinans</i>	2a	-	1.23 \pm 0.12	-	-	1.23 \pm 0.12	
		2b	-	-	6.0 \pm 0.8	-	6.0 \pm 0.8	
	<i>L. racemosa</i>	3	-	-	9.7 \pm 0.3	-	9.7 \pm 0.3	
	<i>C. erectus</i>	4	-	-	-	4.3 \pm 0.1	4.3 \pm 0.1	
Mixtos	<i>A. germinans</i> y <i>L. racemosa</i>	5	-	6.0 \pm 0.7	6.4 \pm 0.9	-	6.7 \pm 0.7	
	<i>A. germinans</i> , <i>C. erectus</i> y <i>L. racemosa</i>	6a	-	-	3.5 \pm 0.9	2.6 \pm 0.7	3.6 \pm 0.3	3.2 \pm 0.6
		6b	-	-	4.6 \pm 1.4	-	3.7 \pm 0.6	4.0 \pm 0.5
	<i>A. germinans</i> y <i>R. mangle</i>	7a	2.5 \pm 1.0	4.7 \pm 1.3	-	-	-	3.9 \pm 1.2
		7b	-	-	-	-	-	-
	<i>A. germinans</i> , <i>R. mangle</i> y <i>L. racemosa</i>	7c	5.3 \pm 0.9	7.2 \pm 1.1	7.0 \pm 1.2	-	-	6.1 \pm 0.8
		7c	2.1 \pm 1.0	6.6 \pm 0.8	3.8 \pm 0.5	4.4 \pm 0.4	-	4.1 \pm 0.4
	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinans</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>C. erectus</i>	8	5.0	-	-	-	-	-
		8	5.0	5.0	-	13.0	-	6.9 \pm 3.9
Altura por especie			3.7 \pm 0.8	5.4 \pm 0.4	5.8 \pm 0.6	4.0 \pm 0.2	-	

Tabla 3. Área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) (promedio \pm un error estándar) de las especies que componen los diferentes tipos de bosques y asociaciones de manglar en El Llano, Ver.

Tipo de bosque	Especies que lo componen	Clave	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	Por asociación
Monoespecíficos	<i>R. mangle</i>	1	sin datos	-	-	-	-
	<i>A. germinans</i>	2a	-	0.006 ± 0.003	-	-	0.006 ± 0.003
		2b	-	0.110 ± 0.036	-	-	0.110 ± 0.036
	<i>L. racemosa</i>	3	-	-	0.022 ± 0.014	-	0.022 ± 0.014
	<i>C. erectus</i>	4	-	-	-	0.022 ± 0.018	0.022 ± 0.018
Mixtos	<i>A. germinans</i> y <i>L. racemosa</i>	5	-	0.005 ± 0.001	0.013 ± 0.011	-	0.017 ± 0.011
	<i>A. germinans</i> , <i>C. erectus</i> y <i>L. racemosa</i>	6a	-	0.051 ± 0.025	0.017 ± 0.004	0.022 ± 0.012	0.089 ± 0.036
	<i>A. germinans</i> y <i>C. erectus</i>	6b	-	0.101 ± 0.075	-	0.035 ± 0.012	0.136 ± 0.075
	<i>A. germinans</i> y <i>R. mangle</i>	7a	0.002 ± 0.0002	0.049 ± 0.023	-	-	0.051 ± 0.023
	<i>A. germinans</i> , <i>R. mangle</i> y <i>L. racemosa</i>	7b	0.035 ± 0.025	0.120 ± 0.043	0.023 ± 0.008	-	0.178 ± 0.066
	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinans</i> , <i>L. racemosa</i> y <i>C. erectus</i>	7c	0.0005 ± 0.0002	0.04 ± 0.030	0.001 ± 0.0004	0.017 ± 0.008	0.039 ± 0.024
	<i>R. mangle</i> , <i>L. racemosa</i> y selva inundable	8	0.0009	-	0.046	-	0.047

Tabla 4. Densidad de individuos ($\text{ind} \cdot \text{ha}^{-1}$) (promedio \pm un error estándar) de las cuatro especies de manglar en los diferentes bosques y asociaciones en El Llano, Ver.

Tipo de bosque	Especies que lo componen	Clave	Por asociación
Monoespecíficos	<i>Rhizophora mangle</i>	1	Sin datos
	<i>Avicennia germinans</i>	2a	7660 \pm 925
		2b	1623 \pm 297
	<i>Laguncularia racemosa</i>	3	3307 \pm 1093
	<i>Conocarpus erectus</i>	4	1582 \pm 582
Mixtos	<i>A. germinans</i> y <i>L. racemosa</i>	5	7562 \pm 2399
	<i>A. germinans</i> , <i>C. erectus</i> y <i>L. racemosa</i>	6a	1169 \pm 379
	<i>A. germinans</i> y <i>C. erectus</i>	6b	849 \pm 215
	<i>A. germinans</i> y <i>R. mangle</i>	7a	3082 \pm 1835
	<i>A. germinans</i> , <i>R. mangle</i> y <i>L. racemosa</i>	7b	2223 \pm 1259
	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinans</i> , <i>L. racemosa</i> y <i>C. erectus</i>	7c	3017 \pm 687
	<i>R. mangle</i> , <i>L. racemosa</i> y selva inundable	8	1700

Tabla 5. Densidad, supervivencia de las plántulas introducidas y parámetros del manto freático en los sitios aforestados ubicados en el borde de la boca lagunar de El Llano, Ver., medidos en abril de 2006.

Sitio	Área (m^2)	Densidad hipotética ($\text{ind} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Supervivencia (%)	Prof. manto freático (cm)	Salinidad (ppm)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)
norte 1	360	6600	4	170	8.2	26.4
norte 2	100	10000	5	-	-	-
sur 1	240	4160	12	27	24.3	29
sur 2	100	15000	16.6	-	-	-

ANEXO FOTOGRÁFICO



Laguna El Llano en época de secas.



Laguna El Llano en época de *nortes*.



Asociación tipo 1. Bosque de *Rhizophora mangle* a la orilla lagunar en época de secas.



Asociación tipo 1. Bosque de *Rhizophora mangle*.



Asociación tipo 2a. Bosques *Avicennia germinans* arbustivo y *Batis maritima*.



Asociación tipo 2a. Detalle de un individuo de *Avicennia germinans* con crecimiento arbustivo.



Asociación tipo 2b. Bosque de *Avicennia germinans* arbóreo alto.



Asociación tipo 2b. Bosque de *Avicennia germinans* arbóreo bajo en primer plano, mediano y alto al fondo.



Asociación tipo 3. Bosque de *Laguncularia racemosa*.



Asociación tipo 3. Bosque de *Laguncularia racemosa* con crecimiento multicaule.



Asociación tipo 4. Bosque de *Conocarpus erectus* y pastos de *Spartina* sp.



Asociación tipo 4. Individuos de *Conocarpus erectus* con crecimiento postrado.



Asociación tipo 5. Bosque de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* con fustes delgados.



Asociación tipo 5. Bosque de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*.



Asociación tipo 6b. Bosque de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*.



Asociación tipo 6b. Bosque de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*
Suelo cubierto por *Batis maritima*.



Asociación tipo 7a. Bosque de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* en el borde lagunar.



Asociación tipo 7a. Bosque interno de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.



Asociación tipo 7b. Bosque de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*.



Asociación tipo 7c. Bosque de *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* y *Rhizophora mangle*.



Asociación tipo 7c. Bosque de *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* y *Rhizophora mangle*.



Asociación tipo 8. Bosque de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y Selva inundable