



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**MICROTOPOGRAFÍA E HIDROPERÍODO EN UN ÁREA
CONSERVADA Y PERTURBADA DEL SITIO RAMSAR No.1602
“MANGLARES Y HUMEDALES DE TUXPAN”**

TESIS

Que para obtener el título de:

**MAESTRO(A) EN MANEJO DE ECOSISTEMAS
MARINOS Y COSTEROS**

P R E S E N T A:

BIOL. ELIZABETH MENDOZA BARRÓN

Director:

M.A. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

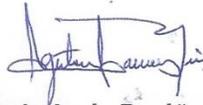
Tuxpan, Veracruz

enero de 2015

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, a Diciembre de 2015

El Presente Proyecto titulado **“MICROTOPOGRAFÍA E HIDROPERÍODO EN UN ÁREA CONSERVADA Y PERTURBADA DEL SITIO RAMSAR No. 1602 MANGLARES Y HUMEDALES DE TUXPAN”** realizado por la C. Biol. Elizabeth Mendoza Barrón, bajo la Dirección del Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz
DIRECTOR

La presente Tesis titulada "**MICROTOPOGRAFÍA E HIDROPERÍODO EN UN ÁREA CONSERVADA Y PERTURBADA DEL SITIO RAMSAR No. 1602 MANGLARES Y HUMEDALES DE TUXPAN**", realizado por la C. Biol. Elizabeth Mendoza Barrón, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISIÓN LECTORA:



DRA. CELINA NAVAL ÁVILA
LECTORA



DR. ASCENCIÓN CAPISTRÁN BARRADAS
LECTOR

AGRADECIMIENTOS

- A mí máxima casa de estudios la Universidad Veracruzana que una vez más me permitió formarme profesionalmente.
- Al Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz Director de Tesis, por el gran apoyo para la realización de este trabajo y quien con su esmero y dedicación, me ha motivado a seguir adelante y cumplir mis objetivos muchas gracias por tanto apoyo y amistad.
- A la comisión lectora integrada por Dra. Celina Naval Ávila y al Dr. Ascensión Capistrán Barradas, por la amplia disponibilidad de tiempo y el aporte de observaciones, comentarios y sugerencias para el mejoramiento de este trabajo.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada, que fue utilizada para el estudio de la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros.
- Al Dr. Ascensión Capistrán Barradas por el gran apoyo en la identificación de las pruebas estadísticas a utilizar en este trabajo y todos los consejos y amistad que me ha brindado.
- A mis compañeros del Posgrado y de la Universidad Veracruzana por la gran amistad que formamos.
- A las personas que me ayudaron en mis análisis de campo y a lo largo de la carrera con sus motivaciones mis amigos Arturo, Cindy, Ale, Magda, Biol. Miguel, Jorge, Denis, muchas gracias sin su ayuda no lo hubiera logrado.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por bendecir mi camino por cuidarme y por la oportunidad de vivir con amor, amistad y salud.

A mis padres Sra. María Félix Barrón Islas y Sr. Timoteo Mendoza Martínez quienes con infinito amor han estado conmigo en todo momento apoyándome en lo personal y profesional, esto es un logro más juntos.

A mis hermanos Araceli Mendoza Barrón y Noé Mendoza Barrón que siempre han estado conmigo siendo mis mejores amigos y cómplices.

A ti, que estás en mi corazón...

ÍNDICE

	Pag.
RESUMEN.....	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III.OBJETIVOS.....	15
3.1. Objetivo General.....	15
3.2. Objetivos Específicos.....	15
IV. ÁREA DE ESTUDIO.....	16
V. MATERIAL Y METODOS.....	19
5.1. Microtopografía del manglar conservado, perturbado y testigos.....	19
5.2. Distribución de las especies de mangle a lo largo de los transectos.....	25
5.3. Hidroperíodo superficial y subsuperficial en las áreas conservadas y perturbadas.....	27
5.4. Estadísticos de Prueba.....	28
VI. RESULTADOS.....	30
6.1. Microtopografía del manglar conservado, perturbado y testigos.....	30
6.1.1. Microtopografía de la poligonal Zona I.....	30
6.1.2. Microtopografía de la Zona II.....	31
6.1.3. Microtopografía de la Zona III.....	32
6.1.4. Microtopografía de áreas testigo.....	33
6.2. Distribución de las especies de mangle con base en la microtopografía.....	38
6.2.1. Estructura arbórea de los sitios de estudio.....	38
6.3. Hidroperíodo superficial y subsuperficial en temporadas de lluvias, nortes y secas.....	57
6.3.1. Hidroperíodo superficial.....	57
6.3.2. Hidroperíodo subsuperficial.....	61
VII. DISCUSIÓN.....	67
VIII. CONCLUSIONES.....	75
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRABAJO.....	77
X. BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Macrolocalización del municipio de Tuxpan, Veracruz.....	16
Figura 2. Localización del Sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” en el municipio de Tuxpan, Veracruz.....	17
Figura 3. Área de Estudio ubicada en la Reserva Ecológica de la CTPALM..	18
Figura 4. Vista panorámica del área de estudio. ZI, ZII y ZIII, significa la poligonales de área de trabajo.....	18
Figura 5. Simbología para la medición microtopográfica.....	20
Figura 6. Transectos de la Zona I en el área conservada y perturbada.....	22
Figura 7. Transectos de la Zona II en el área conservada y perturbada.....	23
Figura 8. Transectos de la Zona III en el área conservada y perturbada.....	24
Figura 9. Transecto testigo sur con área conservada.....	25
Figura10. Esquemización del Método de Cuadrante a un Punto Central (PCQM).....	26
Figura 11. Valores microtopográficos por transecto entre las áreas conservadas y perturbadas y testigos.....	35
Figura 12. Valores microtopográficos por zonas y testigos conservadas y perturbadas.....	36
Figura 13. Valores microtopográficos por áreas perturbadas y transectos testigos.....	37
Figura 14. Diámetro a la Altura del Pecho de las especies de mangle por zonas y transectos testigo.....	41
Figura 15. Altura de las especies de mangle por Zonas y transectos testigo..	43
Figura 16. Valores microtopográficos por transecto en la distribución de las especies.....	45
Figura 17. Valores microtopográficos por zonas, testigos y las tres especies.	46
Figura 18. Valores microtopográficos por zonas, testigos y dos especies....	47

Figura 19. Valores microtopográficos por especie en las tres zonas.....	48
Figura 20. Valores microtopográficos por especie en los testigos.....	49
Figura 21. Correlación de Pearson entre D.A.P. de <i>A. germinans</i> y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos.....	51
Figura 22. Correlación de Pearson entre altura de <i>A. germinans</i> y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos.....	52
Figura 23. Correlación de Pearson entre D.A.P. de <i>R. mangle</i> y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos.....	53
Figura 24. Correlación de Pearson entre altura de <i>R. mangle</i> y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos.....	54
Figura 25. Correlación de Pearson entre D.A.P. de <i>L. racemosa</i> y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos.....	55
Figura 26. Correlación de Pearson entre altura de <i>L. racemosa</i> y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos.....	56
Figura 27. Niveles de inundación superficial durante el periodo mayo a diciembre de 2014 en la zona I y II.....	58
Figura 28. Niveles de inundación superficial en los meses de mayo a diciembre de 2014 en las áreas Conservada y Perturbada.....	59
Figura 29. Niveles de inundación superficial en temporadas de secas, lluvias y nortes de 2014 en las zonas I y II.....	60
Figura 30. Niveles de inundación superficial temporadas secas lluvias y nortes de 2014 en las áreas conservada y perturbada.....	61
Figura 31. Niveles de inundación subsuperficial en los meses de Mayo a Diciembre en las zonas I y II.....	62
Figura 32. Niveles de inundación subsuperficial registrados de mayo a diciembre en la zonas conservada y perturbada.....	63
Figura 33. Niveles de inundación subsuperficial en las zonas uno y dos en temporadas de secas, lluvias y nortes.....	64
Figura 34. Niveles de inundación subsuperficial en las áreas conservada y	

perturbada en temporadas de secas, lluvias y nortes.....	65
--	----

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en área conservada y perturbada de la poligonal Z I.....	30
Cuadro 2. Valores microtopográficos promedio en área conservada y perturbada de la poligonal Z I.....	31
Cuadro 3. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en área conservada y perturbada de la poligonal Z II.....	31
Cuadro 4. Valores microtopográficos promedio en área conservada y perturbada de la poligonal Z II.....	32
Cuadro 5. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en área conservada y perturbada de la poligonal Z III.....	32
Cuadro 6. Valores microtopográficos promedio en área conservada y perturbada de la poligonal Z III.....	33
Cuadro 7. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en la cubierta de manglar del testigo norte.....	34
Cuadro 8. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en la cubierta de manglar del testigo sur.....	34
Cuadro 9. Cuadro resumen del Análisis de Varianza Factorial de los valores microtopográficos en el sitio de estudio.....	38
Cuadro 10. Valores de DAP (cm) por especies y Zonas y Testigos.....	39
Cuadro 11. Valores de Altura por especies, Zonas y Testigos.....	41
Cuadro 12. Cuadro resumen del Análisis de Varianza Factorial de los valores microtopográficos y la distribución muestreada de los individuos de <i>Avicennia germinans</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	49

Cuadro 13. Cuadro resumen de las Correlaciones de Pearson de los valores microtopográficos y los valores de D.A.P. y Altura muestreados en los individuos de <i>Avicennia germinans</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	57
Cuadro 14. Cuadro resumen del Análisis de Varianza Factorial de los valores de inundación superficial y subsuperficial de mayo a diciembre de 2014.....	66

RESUMEN

En un manglar, la frecuencia y periodo de inundación son factores determinantes para la ausencia o presencia de especies y su distribución espacial está definida por un relieve con pocos centímetros de diferencia. Estos aspectos, fueron analizados en un área colindante al Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” y la laguna de Tampamachoco en Tuxpan, Veracruz, que desde 2003 se ha reportado con mortandad de árboles. Transectos perpendiculares a la laguna fueron realizados, nueve en zona de disturbio (que presenta un área conservada colindante a una perturbada) y dos testigos. El hidroperíodo se obtuvo de mayo a diciembre de 2014, utilizando para la inundación superficial una regla graduada y 20 piezómetros para el nivel subsuperficial. La microtopografía se midió con manguera de nivel sobre dos estadales (1 m). La distribución y estructura de las especies fue determinada mediante el Método de Cuadrantes a un Punto Central (PCQM). En los nueve transectos realizados no se encontraron diferencias significativas en su microtopografía entre las áreas perturbada y conservada, así como, entre éstas y los testigos. Solo los individuos de *Laguncularia racemosa* mostraron diferencias con relación a la microtopografía, reportados en valores arriba del nivel de la laguna. La mayor concentración de individuos de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* se estableció en valores entre -1.0 y 1.2 cm. No se presentaron correlaciones de la distribución de valores de microtopografía con alturas y DAP. Los niveles de inundación entre las áreas perturbada y conservada, y los meses muestreados, no mostraron diferencias significativas. Lo que si se observa, es una constante inundación superficial mayor a 20 cm en el tiempo de diseminación de propágulos. En conclusión, con base en la constante flotabilidad de los propágulos, misma que sobrepasa su período viable, el factor encontrado que condiciona la recuperación del sitio es el nivel de inundación.

I. INTRODUCCION

Los humedales costeros agrupan numerosas comunidades que abarcan manglares, marismas, selvas y palmares inundables, popales y tulares, entre otros. Esta gran variedad de composiciones forma mosaicos a lo largo de gradientes microtopográficos, presentándose variaciones en salinidad e inundación que resultan en composiciones y dinámicas distintas (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Cuando se modifican las condiciones hidrológicas (patrones estacionales de entrada y salida de agua, hacia y desde un manglar, por temporalidad e intensidad de mareas, así como de flujos de agua dulce -por escurrimientos o afloramiento del manto freático-) aunque sea mínimamente, su biota puede responder con cambios masivos en la composición y la riqueza de especies, así como en la productividad (Mitsch y Gosselink, 2000; Travieso-Bello *et al.*, 2005). Como patrón resultante de la frecuencia y la duración de inundación de cierta área, se tiene al hidroperíodo (Flores-Verdugo *et al.*, 2007), es así como, la frecuencia y el periodo de inundación se convierten en factores determinantes para la ausencia o presencia de los manglares; las diferentes especies de mangle toleran diferentes niveles de inundación (Lewis, 1982). Cuando el diseño hidrológico no es el adecuado, el manglar no funciona (D'Avanzo, 1989).

En los ecosistemas de manglar, el hidroperíodo está determinado principalmente por la influencia de las mareas y las pequeñas variaciones en su topografía (microtopografía) y, en segundo término, por las inundaciones provocadas temporalmente por los ríos y escurrimientos terrestres de la región (Flores-Verdugo *et al.*, 1995, 2007; Rico y Palacios, 1996; Agraz-Hernández, 1999). La caracterización de la microtopografía permite determinar la distribución de los diferentes tipos de humedales, las áreas potenciales de restauración, así como la ampliación o creación de nuevas áreas para determinado tipo de humedal (Lewis, 1982). En un manglar, la presencia de una u otra especie, así como su distribución espacial en un sitio determinado, están definidas por pocos centímetros de diferencia topográfica (Thom, 1967; Flores-Verdugo *et al.*, 1995; Rico y Palacios, 1996; Agraz-Hernández, 1999; Flores-Verdugo *et al.*, 2006; Benítez-Pardo, 2007; Agraz-Hernández *et al.*, 2010).

Existen diversas situaciones en las que se han detectado mortalidades masivas de manglar por cambios en su patrón hidrológico producidos por agentes externos al ecosistema, como resultado indirecto de actividades humanas (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

El presente trabajo se realizó en un área que, desde 2003 se ha reportado con una mortalidad de 19.4 ha de árboles de mangle debido a la construcción de tres terraplenes perpendiculares a la laguna Tampamachoco, Ver., éstos modificaron el flujo hidrológico y dividieron un bosque de manglar continuo, en tres secciones y

a su vez, cada sección presenta, de forma contigua, un área conservada y otra perturbada. A partir de esa fecha, en el área de estudio, se han realizado trabajos para entender las causas de la perturbación existente; pero solo dos trabajos de tesis a nivel Licenciatura (Bartolo, 2006 y Mendoza, 2013) establecieron la microtopografía (solo en un área pequeña de la perturbación) como un objetivo a lograr. Trabajos posteriores en el área perturbada, como el de Cárdenas (2014), se enfocaron a realizar una reforestación, sin considerar una restauración hidrológica, ni un estudio de la microtopografía de toda el área. Otra circunstancia que reporta López-Portillo *et al.* (2014) en el área es la apertura, desde 2011, de canales en los terraplenes que soportan las torres de líneas de transmisión eléctrica, acción que ha permitido restaurar el flujo laminar de agua al interior del área perturbada.

El aporte del presente trabajo, consistió en la caracterización de la microtopografía y el comportamiento del hidroperíodo en toda el área de disturbio y así, estimar la existencia de diferencias en el gradiente microtopográfico entre el área conservada y perturbada; así como identificar un diferencial en su patrón estacional de nivel del agua, tanto superficial, como subsuperficial, y si estos dos factores son condicionantes para su regeneración o restauración.

II. ANTECEDENTES

Estudios sobre microtopografía en manglares.

La distribución microtopográfica en un bosque de manglar determina la zonación de las especies a lo largo de la franja del bosque, debido a que esta presenta una estrecha relación con el hidropérido, las características químicas del agua superficial y del agua intersticial y con ello el establecimiento de la especies de mangle y su límite de distribución (Agraz-Hernández *et al.*, 2010).

En México, ya desde 1967, se menciona que la microtopografía explica la distribución de las especies de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* y además, que la dinámica de los manglares refleja la geomorfología y los cambios de salinidad. A su vez, se señala que la estructura de los manglares y su distribución espacial, están en función de los cambios de las formas de relieve (Thom 1967).

La microtopografía, la precipitación y los ciclos de marea afectan la concentración de sales en los sedimentos y el nivel de inundación. Esto junto a la disponibilidad de nutrientes, la producción de semillas, los mecanismos de dispersión, retención, herbivoría y competencia, determinan la distribución y establecimiento de las especies de manglar (Jiménez y Lugo, 2000). En la mayoría de los casos estos factores están interrelacionados y su efecto no puede ser atribuido a una condición

aislada (Ramírez, 2005). Por otra parte, también se plantea la importancia de la microtopografía, siendo la que determina la distribución del manglar, y además los procesos físicos que juegan un papel dominante en la formación y mantenimiento funcional de los ecosistemas de manglar. La microtopografía es un factor importante en los bosques de manglar ya que interfiere en el lavado de las sales acumuladas en el suelo al modificar el flujo de agua de escorrentía, además determina la profundidad de la inundación y afecta el alcance de la penetración mareal (Kjerfve, 1990). En este sentido, con relación a niveles microtopográficos en áreas de restauración, se recomienda incrementar el nivel hasta los intervalos en que presentan las plántulas de bosques de referencia y posteriormente reforestar con plántulas producidas en vivero (Agraz *et al.*, 2010).

El clima, la microtopografía, las variaciones de los aportes de agua dulce/marina (hidroperíodo), los impactos antrópicos y eventos naturales están determinando en gran medida la heterogeneidad de tipos de manglar en la Península de Yucatán, así como, los diferentes estados de condición, y las variaciones estacionales de variables del suelo y ecológicas (Herrera-Silveira *et al.*, 2010). A nivel internacional existen trabajos, como el realizado en el Rincon de Guanabo y la Laguna del Cobre-Itabo (Cuba), en donde también se establece que la variación de la microtopografía es fundamental para explicar diferencias entre los tipos de vegetación en cuanto a la importancia de los mangles en la cobertura vegetal y en la composición florística (Roig, 2005).

Los cambios en la topografía se reflejan en la hidrología y en las condiciones de oxidación/reducción del suelo. El potencial Redox del suelo (medido en mV) es un indicador de las condiciones de anaerobiosis a las que están sujetas las estructuras subterráneas así como de la temporalidad de la inundación de humedales (Patrick *et al.*, 1996). Otro factor asociado con la diferenciación de comunidades vegetales de humedales es la salinidad que a su vez está asociado con la influencia de las mareas y la cercanía del humedal al Mar. Según la metodología de McKee *et al.*, (1988) esta puede ser monitoreada del agua intersticial extraída de la zona de raíces a 15 cm de profundidad.

Estudios de hidroperíodo en manglares.

En los manglares de México es posible encontrar bosques monoespecíficos o mixtos creciendo en suelos con niveles de inundación comparables. Hay áreas, con un potencial de distribución por mareas semejante, que mantienen especies diferentes; estos cambios en composición posiblemente están relacionados con la salinidad y el ambiente geomorfológico (López-Portillo y Ezcurra, 2002).

Las diferentes especies de mangle tienen distintas preferencias de inundación. La presencia de una u otra especie, así como su extensión en un sitio determinado, lo definen unos cuantos cm de diferencia topográfica. Las plántulas de cada especie de mangle tienen una distribución de inundación aún más restringida que los adultos (Flores-Verdugo *et al.*, 2006).

Otros autores, mencionan que las características del hidroperíodo debido principalmente al efecto de la marea y geomorfología tienen un efecto importante sobre la frecuencia y tiempo de inundación así como la concentración salina de las zonas de estudio. Esta relación es una condición clave en la distribución de las especies de manglar (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*) en el estero de Urías en Mazatlán (Monroy-Torres *et al.*, 2010).

La frecuencia y el período de inundación son factores determinantes para la ausencia o presencia de los manglares. La temporalidad y el momento de la inundación, así como las características fisicoquímicas del agua (salinidad, conductividad, pH, transparencia, densidad, oxígeno disuelto, etc.) son factores que regulan el establecimiento de las diferentes comunidades o tipos de humedales (Blom y Voeselek, 1996; Mitsch y Gosselink, 2000). Dentro de los factores que se ven afectados, se encuentran la composición y riqueza de especies, la productividad primaria, la acumulación de materia orgánica y los ciclos de nutrientes.

Estudios de microtopografía e hidroperíodo en la restauración en manglares.

La necesidad de recuperar un ecosistema implica que se ha alterado o degradado parcial o totalmente. El método adoptado para la recuperación dependerá de las condiciones locales, por lo tanto es muy difícil generalizar acerca de las técnicas que se deben de adoptar para la restauración/ rehabilitación de un ecosistema de manglar. Sin embargo, existen algunos principios generales que se deben de

seguir cuando se está contemplando la recuperación de un sitio particular: es necesario tener un entendimiento claro de la naturaleza y de la dinámica de los ecosistemas de manglar para cualquier programa de restauración/rehabilitación (Ciau-Cardozo, 2010).

La recuperación de áreas alteradas, deterioradas o en proceso de degradación de manglares, es posible cuando se considera una aproximación a los ecosistemas que prevalecían antes de las alteraciones y teniendo en cuenta los factores de regímenes de salinidad, frecuencia de mareas, sedimentación, contaminación química, disponibilidad de flujos hídricos, acciones antrópicas y dinámica costera, entre otros (Sánchez, 2009).

La hidrología es una de las variables más importantes para la restauración de los humedales costeros. Las condiciones hidrológicas dependen del clima, de los patrones estacionales de entrada y salida de agua hacia y desde el humedal, de las mareas y de las fluctuaciones del manto freático (Mitsch y Gosselink, 2000). Es decir una buena parte del funcionamiento hidrológico del humedal depende del hidroperíodo. Al mismo tiempo que está condicionado en parte, por la microtopografía del terreno donde se ubica el humedal (D' Avanzo, 1989).

La reforestación ha sido la actividad preponderante para la restauración de manglares, pero en la mayoría de los casos se han realizado de manera empírica sin considerar el hidroperíodo, lo que ha llevado a algunos fracasos o a

rendimientos muy bajos. Reyes y Tovilla (2002) reportan una mortalidad de 61.2% de una plantación directa con propágulos de manglar rojo y lo atribuyen a que las plántulas no estuvieron bajo condiciones de inundación por largo tiempo, en cierta temporada del año. En el caso de la restauración hidrológica, el hidroperíodo es muy importante para los manglares, tanto para la reforestación como para la restauración y más recientemente para la creación de nuevas áreas para forestación natural o inducida de manglar. Los diferentes tipos de humedales costeros están condicionados en gran medida por el hidroperíodo y la salinidad del agua. En los ecosistemas de manglar, el hidroperíodo va a estar determinado principalmente por la influencia de las mareas y las pequeñas variaciones en su topografía (microtopografía) y, en segundo término, por las inundaciones provocadas temporalmente por los ríos y escurrimientos terrestres de la región (Flores-Verdugo *et al.*, 1995; Rico-Gray y Palacios, 1996; Agraz-Hernández, 1999).

Los avances en la reforestación o recuperación ambiental de manglares, se ven aún muy disminuidos por la falta de efectividad o eficacia. Probablemente, esto se debe a que las inversiones más elevadas en la restauración de manglares se han hecho en zonas con bajo potencial o definitivamente sin aptitud para plantar árboles de mangle. Quizá otro elemento de esta falla venga desde la misma conceptualización del término restauración, que se considera igual que reforestación o plantación de árboles de determinada especie, en este caso el manglar. En muchas ocasiones las zonas que fueron manglares sufrieron

modificaciones en su régimen hidrológico, tanto en la interrupción de flujos de agua, como en la modificación del micro relieve por parte de la carga ganadera (Ramírez *et al.*, 2010).

En una reforestación llevada a cabo en Campeche, en un bosque de manglar muerto y uno conservado, se estableció que los parámetros clave en el éxito, fueron la determinación puntual del hidroperíodo, diferencias en el relieve del suelo, concentración de salinidad y nutrientes, características edafológicas y el monitoreo de parámetros químicos en el agua intersticial a través de dos años (García-Zaragoza *et al.*, 2010).

En la mayoría de los trabajos sobre restauración de manglar, se asume de inmediato que restauración de manglar significa siembra de mangles. Esto lleva a ignorar la hidrología y la regeneración natural a través de propágulos de mangles, y a muchos fracasos en los intentos de hacer restauración del manglar (Erftermeijer y Lewis, 2000).

La ubicación del manglar (humedales forestados) en la interfase tierra-mar (formando conjuntos inter-dependientes) liga el ambiente marino-costero con el paisaje terrestre-costero. Aun cuando los manglares predominan en zonas de mayor influencia de sedimentos terrígenos (*p. e.* deltas fluviales, lagunas costeras y estuarios), también pueden ser encontrados en la línea de costa de plataformas carbonatadas, con limitada o nula influencia de drenaje dulce-acuícola superficial.

Esta heterogeneidad de hábitats y contrastes hidrológicos, fisiográficos y geomorfológicos, da como resultado diversos ecosistemas de manglar, cada uno con características específicas de estructura y función (p.e. ribereño, de borde, de cuenca, de hamacas, o enanos) (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998).

Los manglares tienen un mismo patrón de presencia en todo el mundo, independientemente de la composición de especies, es decir se desarrollan en un llano de mareas por encima del nivel máximo medio del agua y que se extiende hasta la zona de las mareas vivas (de sicigia). En segundo lugar, esto significa que, el tiempo en que los manglares están típicamente inundados por las mareas altas es muy restringido (Lewis, 2005). Por ejemplo, se ha encontrado una validación del nivel de inundación máximo en un manglar con base a la altura y densidad de los neumatóforos, los más largos se encuentran en lugares donde el nivel de agua es amplio durante la época de lluvias, mientras que en sitios con inundaciones menores los neumatóforos permanecen con menor altura (Schnetter, 2002).

Con relación a la sobrevivencia de las plántulas de especies de mangle, diversos autores han reportado que la inundación es una de las razones más importantes que causa mortalidad en *Avicennia germinans*, y que solo las plantas más altas y las que están en sitios menos inundados o más altos sobreviven, con respecto a *Laguncularia racemosa*, se reporta que la inundación es uno de los factores que afectan negativamente a su supervivencia (Elster *et al.*, 1999; Cruz, 2008). En

este sentido, *A. germinans* no es muy tolerante a las inundaciones como otras especies de mangle, como *Rhizophora mangle* (Naidoo, 1985; López-Portillo y Ezcurra 1989). El propágulo de *L. racemosa* a los pocos días de estar flotando se hunde y establece (Delgado *et al.*, 2001), mientras que el de *A. germinans* continúa flotando y no se establece en presencia de agua; la duración de la inundación en la isleta Cajones, Alvarado, Veracruz, puede ser tan amplia que los propágulos de *A. germinans* mueren antes de que baje el nivel de inundación (Hernández, 2010).

Un aspecto importante, que es necesario establecer es el papel que juega el hidroperíodo y la microtopografía en los aspectos de la regeneración natural por medio de los propágulos de las especies de mangle. Para ejemplificar este caso, se menciona que, existe pérdida de propágulos por corrientes internas dentro del bosque de manglar en temporada de lluvias, solo en algunos parches (con niveles por arriba de la inundación) actúan como estructura de retención de propágulos, así como neumatóforos y ramas bajas, pero estos últimos, solo cuando disminuye el nivel de agua (Lema *et al.* 2003). Para reforzar el concepto de la importancia del hidroperíodo y la microtopografía, se realizaron experimentos sobre el nivel microtopográfico en cuatro especies de mangle, en donde se establece que la elevación del nivel del suelo con respecto al nivel de marea es un factor significativo para la sobrevivencia y el crecimiento adecuado de las plántulas de manglar (Rabinowitz, 1975). Por otra parte se propone la construcción de corrales a base de madera y malla-sombra agrícola, con el propósito de generar espacios

que funcionaran como trampas semilleras, o bien que mantuvieran las semillas que se depositaban dentro de las mismas; estas trampas se colocaron tratando de que fueran más altas que las mareas y que de esta forma las semillas de mangle se mantuvieran hasta que se pudieran fijar, o bien a que se enraizaran al suelo de manera natural (Benítez *et al.*, 2013).

Con base en mediciones del hidroperíodo, se ha podido observar que los manglares de franja están asociados a las mareas del cuerpo lagunar y los de tipo cuenca a la temporada climática y la esorrentía local (Pérez-Ceballos *et al.*, 2010). Con relación a lo anterior, se reportó una clara zonación entre las diferentes especies de mangle con respecto al nivel de las mareas y la salinidad intersticial en el Estero de Urías (Mazatlán, Sinaloa) (Agraz-Hernández 1999). Resultados similares fueron obtenidos por Flores-Verdugo *et al.* (1995) en Boca Cegada, Nayarit, donde la diferencia entre la presencia de mangle negro (*Avicennia germinans*) y su ausencia en una marisma es de 2 a 7 cm. Los resultados de este estudio permiten hacer las siguientes recomendaciones finales orientadas a la restauración de humedales costeros. En primer lugar, se deben conocer las modificaciones realizadas en la microtopografía, el hidroperíodo y la salinidad de los humedales, antes de llevar a cabo la restauración, ya que estos factores determinan el tipo de humedal, su composición de especies, su desarrollo, así como su funcionamiento. Así mismo, se recomienda establecer controles cercanos, con los cuales se pueda comparar y usar como mediciones de base para el diseño del trabajo de restauración.

Una de las características más importantes de los elementos arbóreos del manglar es su adaptación a condiciones específicas de periodicidad de inundación y exposición al aire, diferente para cada especie. Esto determina la distribución y zonación de los manglares e incluso influye en la sucesión. Estas condiciones resultan de las situaciones hidrológicas netas de la zona en particular y son producto de la combinación de las mareas, aportes fluviales, escurrimientos terrestres, precipitación-evaporación, viento, profundidad y geomorfología del cuerpo de agua adyacente, tasa de sedimentación (y hundimiento o subsidencia) y la extensión de su nivel topográfico óptimo. Todos estos son los factores de gran importancia que determinan el éxito de los programas de reforestación o forestación (Agraz-Hernández *et al.*, 2006).

III. OBJETIVOS

III.1. GENERAL

Determinar la microtopografía y el hidroperíodo en un área conservada y perturbada del bosque de manglar del Sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan”.

III.2. ESPECÍFICOS

- Caracterizar la microtopografía perpendicular a la Laguna de Tampamachoco en un área conservada y perturbada del bosque de manglar.
- Determinar la distribución de las especies de mangle con base en la microtopografía en un área conservada y perturbada del bosque de manglar.
- Establecer los cambios en el hidroperíodo superficial y subsuperficial de mayo a diciembre de 2014 en un área conservada y perturbada del bosque de manglar.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Tuxpan se ubica en la región Huasteca al norte del Estado de Veracruz en las coordenadas $20^{\circ} 57' 21''$ de latitud norte y $97^{\circ} 24' 01''$ de longitud oeste. Limita con los municipios de: Tamiahua al norte, al poniente con Tempache y al sur con Tihuatlán y Cazones (Fig. 1).

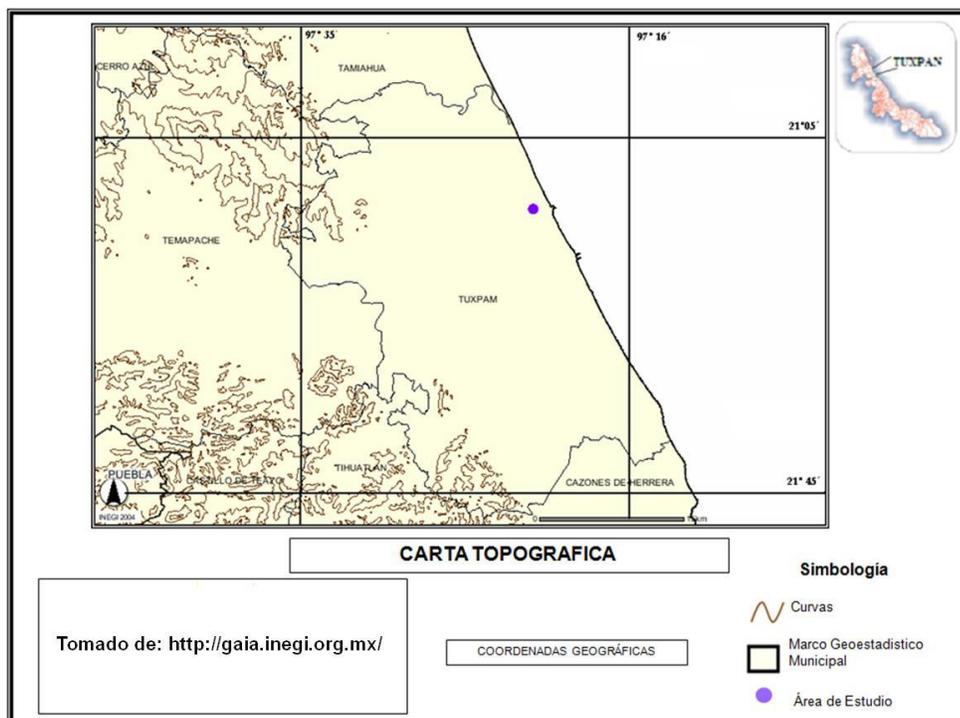


Figura 1. Macrolocalización del municipio de Tuxpan, Veracruz.

En el municipio de Tuxpan se presenta la laguna de Tampamachoco que se ubica en la llanura costera del golfo de México, aproximadamente a 10 km al oeste de la

cabecera municipal. El área de estudio forma parte del sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” (Fig. 2) (Basáñez-Muñoz, 2005).

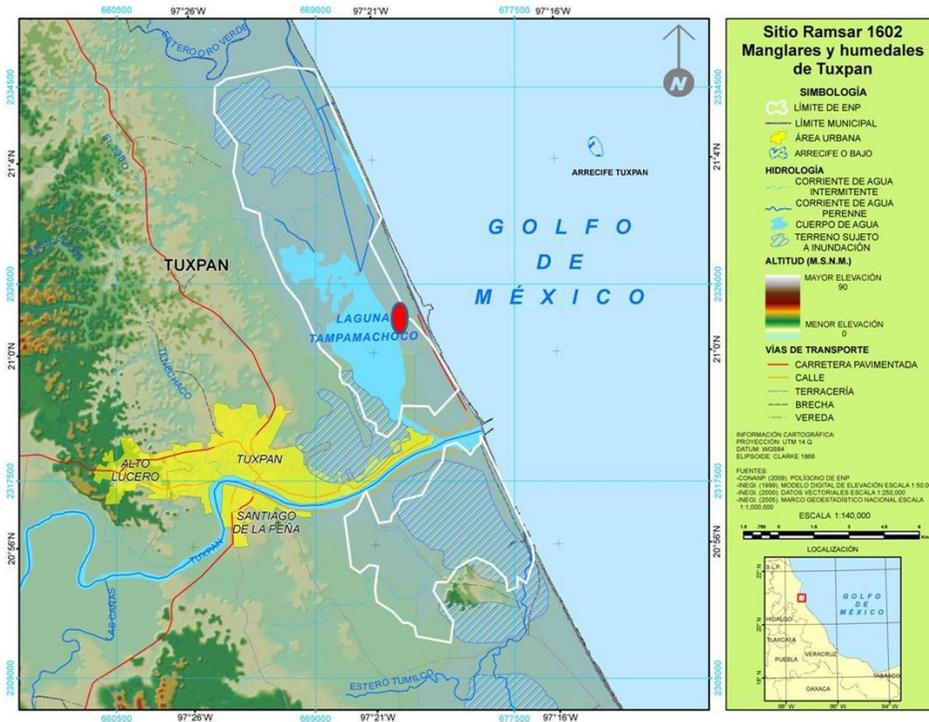


Figura 2. Localización del Sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” en el municipio de Tuxpan, Veracruz.

El sitio de trabajo, se encuentra ubicado entre la playa de Tuxpan y la Laguna de Tampamachoco, al oeste del Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” (CTPALM). Está integrada por tres sitios divididos por tres terraplenes construidos para soportar las líneas de transmisión eléctrica. De sur a norte, se presenta una poligonal (Zona I) de 15.47 ha, posteriormente se tiene otra poligonal (Zona II) de 5.48 ha y al norte con 90.07 ha, una tercera poligonal (ZIII); en todas

ellas que existe mortandad de árboles de mangle de 19.4 ha (4.4 ha en la Zona I, 1.5 en la Zona II y 13.5 en Zona III) (López-Portillo *et al.*, 2014) (Figs. 3 y 4).

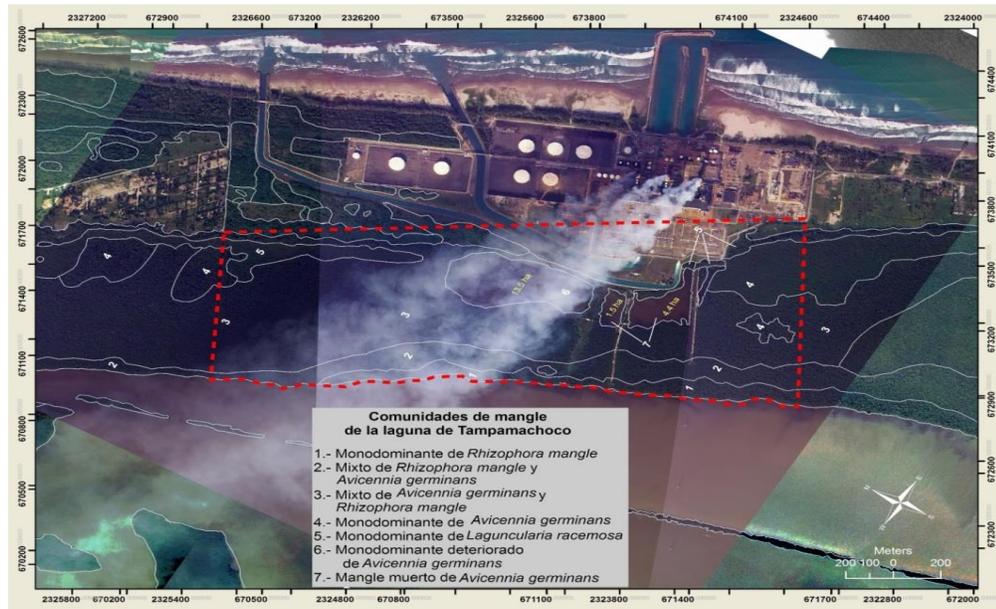


Figura 3. Área de Estudio ubicada en la Reserva Ecológica de la CTPALM. Tomado de López-Portillo (2010).



Figura 4. Vista panorámica del área de estudio. Z I, Z II y Z III (poligonales de área de trabajo), terraplenes y estados del bosque de manglar. Fotografía: Mtro. F. Javier Martos Fernández.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Microtopografía del manglar conservado, perturbado y testigos.

La caracterización de la microtopografía se realizó mediante nueve transectos perpendiculares a la laguna de Tampamachoco (poligonales Z I, Z II y Z III); cada uno inicio en el margen de la laguna de Tampamachoco, en sentido perpendicular hasta culminar el área perturbada. En su recorrido, se presentan árboles de mangle vivos (que le dan un carácter de conservado al bosque), pero también se tiene un área de árboles muertos (bosque perturbado); la extensión del transecto, varía en cada uno de ellos. A su vez, se realizaron dos transectos que se consideraron como testigos, una a cada extremo del área de trabajo. En ambos casos se tiene en toda su extensión arboles vivos.

Para la toma del nivel microtopográfico se utilizó una manguera de plástico con una longitud de 7 m y dos reglas de 1 m a las cuales se les fijo en cada extremo dos cinturones de plástico para unir los dos extremos de la manguera (Moreno-Casasola y Warner 2009). Esta se llenó con agua (dejando al menos 50 cm de manguera sin agua y evitando la formación de burbujas) y se colocó un tapón en los extremos de la misma. La utilización de manguera de nivel permite trasladar cotas con una precisión aproximada de ± 5 mm en 15 m (Del Corral, 2001).

La primera medida se llevó a cabo colocando una regla al nivel de la superficie del cuerpo de agua y la otra a 50 cm de distancia para obtener el punto de inicio con relación a nivel de la laguna (Nivel de Referencia "NR"). Posteriormente las dos reglas se colocaron en forma vertical y firmemente al suelo, separadas 2 m; una vez estabilizados los meniscos (los meniscos son un indicador, en la manguera, del nivel horizontal del agua) se marcó su nivel sobre la regla, la diferencia entre la graduación en cada regla se reconoce como el aumento o disminución del relieve (Figura 5).

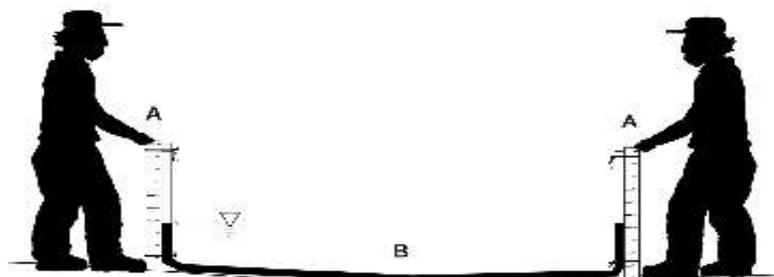


Figura 5. Simbología para la medición microtopográfica. Tomado de Moreno-Casasola y Warner. (2009).

Una vez realizadas las mediciones se procedió a desplazarse cuidadosamente y evitando mover violentamente la manguera al siguiente punto (cada punto tenía una separación de dos metros). Este proceso se fue repitiendo a todo lo largo del transecto.

Un aspecto importante que se tomó en cuenta fue evitar la formación de burbujas por lo que fue necesaria una buena coordinación en el equipo de trabajo, evitando

subir la manguera por arriba del nivel de los meniscos en los extremos. Fue preferible arrastrar la manguera evitando enrollarla para tener menos riesgo de introducir burbujas. Cuando se presentaban burbujas se levantaba poco a poco la manguera y se golpeaba hasta que la manguera quedaba libre de ellas.

En la poligonal Zona I, se realizó un transecto, que fue ubicado a la mitad de los dos transectos ya trazados por Mendoza¹ en 2013 (aproximadamente a 65 m entre ambos). Con base a esta separación (65 m) y la anchura entre los terraplenes (límite entre las poligonales), se realizó la ubicación de todos los transectos de la poligonal Z II y Z III. Los transectos se establecieron de la siguiente forma: tres transectos en la poligonal Z I, dos transectos en la poligonal Z II y cuatro transectos en la poligonal Z III.

- Microtopografía de la Zona I.

La zona I tiene una extensión promedio de 520 m de largo por 235 m de ancho; en esta zona se realizaron tres transectos.

El transecto 1, localizado al sur de la zona I, contó con una extensión total de 680 m de largo, de los cuales, 380 m le corresponde al área conservada y 300 m al área perturbada. El transecto 2, localizado entre el transecto 1 y 3, presentó una

¹ Mendoza (2013) realizó dos transectos en la poligonal Z I que fueron perpendiculares a la laguna de Tampamachoco y que atravesaron las áreas conservadas y perturbadas. Solo en uno de ellos se encontró diferencias significativas entre las áreas. En el presente trabajo se optó por realizar un transecto en medio de los realizados por Mendoza (op. cit.) y al hacerlo equidistante entre ellos, se obtiene 65 m.

extensión de 520 m, el área conservada tiene una extensión de 380 m, restando 140 m del área perturbada. El tercer transecto, localizado al norte de la zona, registró 560 m, siendo el área conservada 380 m y la perturbada, 180 m. La extensión mayor del transecto 1 se debe a la forma irregular que presenta la Zona I (Fig. 6).



[Figura 6. Transectos de la Zona I en el área conservada y perturbada.](#) Fotografía: Mtro. F. Javier Martos Fernández

- Microtopografía de la Zona II.

La zona II, presenta 500 m de largo y 88 m de ancho; dos transectos perpendiculares a la laguna se realizaron en esta zona.

El transecto 1 de la zona II de 480 m de largo, se divide en 200 m de área conservada y 280 m de perturbada, con ubicación al sur. El transecto 2 obtuvo una extensión de 340 m, con 200 m para el área conservada y 140 m en el área perturbada (Figura 7).



Figura 7. Transectos de la Zona II en el área conservada y perturbada. Fotografía: Mtro. F. Javier Martos Fernández

- Microtopografía de la Zona III.

La zona III, con una extensión de 588 m de largo por 725 m de ancho, es la zona más amplia y en donde se realizaron 4 transectos; el primero, cercano al terraplén que colinda con la zona II y el último donde termina el área perturbada.

El primer transecto de la zona III, de 720 m, corresponden 380 m al área conservada y 340 m a la perturbada. En el transecto 2 presentó una extensión total de 720 m, siendo para el área conservada 380 m y para la perturbada 340 m. El tercer transecto midió 640 m, 380 m con manglar conservado y 260 m de perturbado. El cuarto transecto localizado cercano al testigo norte, obtuvo 720 m de largo, siendo, para el área conservada 380 m y para el área perturbada 340 m (Fig. 8).



Figura 8. Transectos de la Zona III en el área conservada y perturbada. Fotografía: Mtro. F. Javier Martos Fernández

- Microtopografía de áreas testigo.

Con la finalidad de establecer comparaciones entre los transectos que presentan un área conservada y degradada, se estableció la incorporación de dos sitios, que a lo largo de su transecto presentaran un bosque de manglar continuo, mismos que sirvieron como testigo; un transecto testigo se localizó en colindancia de la Zona III, al que se le llamó, testigo norte y otro en colindancia con la Zona I, llamado testigo sur (Fig. 9).



Figura 9. Transecto testigo sur con área conservada. Fotografía: Mtro. F. Javier Martos Fernández

Para el testigo realizado en la zona norte, colindando con la Zona III, se contó con una extensión de 660 m. El testigo sur, que colinda con la Zona I, presentó una extensión de 700 m.

5.2. Distribución de las especies de mangle a lo largo de los transectos.

Para la distribución de las especies se utilizaron los mismos transectos de microtopografía: 11 transectos, tres en la Zona I, dos en la Zona II, cuatro en la Zona III; los datos se obtuvieron solo del bosque conservado, y dos testigos, al norte colindando con el Ejido Barra Galindo y un testigo Sur. Se obtuvo la distribución de las especies, así como la estructura forestal, siguiendo la metodología del Cuadrante a un Punto Central (PCQM) de Cottan y Curtis (1958), modificado para manglares por Cintrom y Schaeffer-Novelli (1984) (Fig. 10).

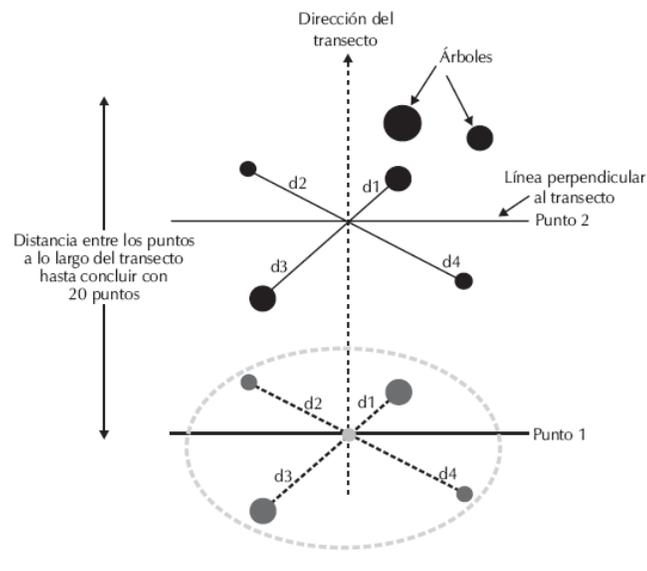


Figura 10. Esquematización del Método de Cuadrante a un Punto Central (PCQM). Tomado de Agraz-Hernández *et al.* (2006).

En cada transecto (perpendicular a la laguna) se colocó una cruceta de madera de un metro de largo sobre un poste vertical fijo al suelo. La cruceta define cuatro cuadrantes al infinito y en cada cuadrante se midió la distancia en metros del árbol (o fuste) más cercano al punto, se identificó la especie -siguiendo la guía de campo para la identificación de los manglares en México de Agraz-Hernández *et al.* (2006) y se tomó la altura del árbol por medio de un clinómetro, su diámetro o circunferencia (en cm) a la altura del pecho (a 1.30 m de altura aproximadamente) o a 15 cm por arriba de las raíces adventicias en el caso de *Rhizophora mangle* (excluyendo los árboles con diámetros menores a 2.5 cm -8 cm de perímetro-).

5.3. Hidroperíodo superficial y subsuperficial en las áreas conservadas y perturbadas.

Con relación al hidroperíodo, este se estableció tanto del agua superficial como subsuperficial. Los puntos de medición se establecieron en las Poligonales Z I y Z II a lo largo de los transectos utilizados para la microtopografía y distribución de especies. Se consideraron tanto el área conservada como el área perturbada. El monitoreo de esta variable se realizó de mayo a diciembre de 2014 (comprendiendo meses de las temporadas de secas, lluvias y nortes).

La medida de inundación superficial se realizó con una regla de 1 m, la cual se colocó de forma vertical en el sustrato, anotando el nivel de agua a cada dos metros.

Para la toma de valores del agua subsuperficial se utilizaron 20 piezómetros (Lee y Cherry, 1978) con los que fue establecida la fluctuación del nivel de agua. Los piezómetros tuvieron una longitud de 1.50 m, siendo introducido en el sustrato hasta la marca de un metro. Se colocaron cuatro piezómetros en cada uno de los cinco transectos (Zona I y Zona II); dos en el área conservada y los otros dos en el área perturbada.

La forma de medir el nivel de agua subsuperficial realizó introduciendo un vara redonda de madera de 1.60 m (a la cual se le anoto una graduación a cada cm)

hasta topar el fondo del piezómetro; se retiraba la vara y se anotaba hasta donde se encontraba la marca de agua.

5.4. Estadísticos de Prueba.

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores microtopográficos obtenidos en el área conservada y perturbada, se realizaron Análisis de Varianza Factoriales para los nueve transectos, las tres Zonas (Zona I, Zona II y Zona III) y los dos Testigos (norte y sur).

Además, para establecer diferencias significativas entre los valores microtopográficos promedio y la distribución de las especies (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*) a lo largo de los transectos, se llevó a cabo un Análisis de Varianza Factorial por transecto, por zona y transectos testigo, entre zonas y entre testigos.

A su vez, se llevaron a cabo Correlaciones de Pearson entre los valores microtopográficos promedio y los datos estructurales de altura y D.A. P. por cada una de las especies.

Por último, con relación al hidoperíodo, se aplicaron Análisis de Varianza Factorial entre el nivel superficial y subsuperficial de inundación y los meses muestreados

(mayo a diciembre), así como por estaciones (secas, lluvias y nortes); tanto por zonas (Poligonal de Z I y Z II), como por áreas (conservada y perturbada).

VI. RESULTADOS

6.1. Microtopografía del manglar conservado, perturbado y testigos.

6.1.1. Microtopografía de la Zona I.

El transecto 1, tiene un valor (entre todos sus puntos) máximo de nivel microtopográfico de 10 cm en el área conservada y -15 cm en el área perturbada, el transecto 2 con valores entre 25 cm del área conservada y -7 cm en la perturbada y el transecto 3, de 8 cm y -9.5 cm respectivamente. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en área conservada y perturbada de la poligonal Z I

Transecto	Área Conservada		Área Perturbada	
	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)
1	10	-8	10	-15
2	25	-12	8.5	-7
3	8	-4.5	8	-9.5

Al realizar un análisis a lo largo de los transectos (cuadro 2), se observa que, en los primeros 20 m solo el transecto 1 presenta un valor promedio por debajo del nivel de referencia (nivel de la laguna), el transecto dos esta 3.75 cm en promedio arriba y el transecto 3 tiene el mismo nivel de laguna. En el área conservada, el promedio de valores del perfil microtopográfico tienen valores positivos (arriba del nivel de referencia); es a partir del área perturbada cuando, en sus primeros 20 m, se tiene en el transecto 1 y 3 valores negativos (debajo del nivel de referencia), en

promedio, solo el transecto 1 sigue conservando su valor negativo a lo largo del área perturbada.

Cuadro 2. Valores microtopográficos promedio en área conservada y perturbada de la poligonal Z I.
Poligonal Z I

Transecto	Extension en (m)			area conservada		area perturbada	
	conservada	perturbada	total	0 - 20 m	0 - 380 m	380 - 400 m	380 -
1	380 m	300 m	680 m	-0.5 cm	0.61 cm	-0.15 cm	-0.56 cm
2	380 m	140 m	520 m	3.75 cm	0.38 cm	1.4 cm	0.66 cm
3	380 m	180 m	560 m	0	0.46 cm	-0.25 cm	0.30 cm

6.1.2. Microtopografía de la Zona II.

Al obtener los rangos en la Poligonal Z II, transecto 1, se presenta un valor promedio máximo en la zona conservada de 12 cm, en el área perturbada de -11 cm, mientras que el transecto 2, su valor máximo en la zona conservada fue de 5 cm y el área perturbada de -10 cm (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en área conservada y perturbada de la poligonal Z II.

Transecto	Área Conservada		Área Perturbada	
	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)
1	12	-7	13	-11
2	5	-8	12	-10

En el cuadro 4, se presenta los dos transectos realizados; en ellos se observa que en los primeros 20 m del área conservada sus valores por encima del nivel de referencia, sin embargo, en su área conservada, el promedio del transecto 1 es

negativo y se continúa a hasta el término del área perturbada. El transecto 2 mantiene sus valores promedio positivos desde el inicio hasta el final del mismo.

Cuadro 4. Valores microtopográficos promedio en área conservada y perturbada de la poligonal Z II.

Poligonal ZII

Transecto	Extension en (m)			area conservada		area perturbada	
	conservada	perturbada	total	0 - 20 m	0 - 380 m	380 - 400 m	380 -
1	200 m	280 m	480 m	0.4 cm	-0.32 cm	-0.4 cm	-0.65 cm
2	200 m	140 m	340 m	1.3 cm	0.12 cm	0.5 cm	0.79 cm

6.1.3. Microtopografía de la Zona III.

De acuerdo a los rangos microtopográficos máximos y mínimos, para el transecto 1 en el área conservada el valor máximo que se obtuvo fue de 9 cm para el área conservada y de -4 cm, para la perturbada, en el transecto 2, con 4 cm en área conservada y -13 cm en área degradada, el transecto 3 con 5 cm en el área conservada y -7 cm en el área perturbada, mientras que el transecto 4 se tienen en área conservada y degradada, 7 cm y -1 cm (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en área conservada y perturbada de la poligonal Z III.

Transecto	Área Conservada		Área Perturbada	
	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)
1	9	-5	3	-4
2	4	-5	9	-13
3	5	-12	6	-7
4	7	-9	2	-1

De los cuatro transectos efectuados en la poligonal Z III, dos de ellos (transectos 2 y 4) tienen valores promedio por debajo del nivel de referencia en los primeros 20 m. El único transecto que conserva esta condición a lo largo del área conservada y perturbada es el transecto 3. El transecto 1 que conserva valores promedio positivos en el área conservada los presenta negativos en la perturbada (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores microtopográficos promedio en área conservada y perturbada de la poligonal Z III.

Poligonal ZIII

Transecto	Extensión en (m)			area conservada		area perturbada	
	conservada	perturbada	total	0 - 20 m	0 - 380 m	380 - 400 m	380 -
1	380 m	340 m	720 m	0.6 cm	1.26 cm	3 cm	-0.06 cm
2	380 m	340 m	720 m	-2.5 cm	0.17 cm	0.9 cm	0.76 cm
3	380 m	260 m	640 m	-0.5 cm	-0.18 cm	-0.8 cm	-0.55 cm
4	380 m	340 m	720 m	-0.1 cm	0.12 cm	0.5 cm	0.21 cm

6.1.4. Microtopografía de áreas testigo.

6.1.4.1. Microtopografía del testigo norte.

Para el testigo norte, relacionado con la poligonal Z III, pero con toda su extensión cubierta por manglar, se tiene un valor máximo y mínimo de 8 y -8 cm (Cuadro 7).

Cuadro 7. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en la cubierta de manglar del testigo norte.

Transecto	Área Conservada	
	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)
Testigo norte	8	-8

6.1.4.2. Microtopografía del testigo sur.

El testigo sur, que colinda con la Zona I, presentó una extensión de 700 m, al igual que el testigo norte, tiene cubierta de manglar en toda su extensión. El valor promedio máximo fue de 10 cm a los 340 m y un valor promedio mínimo de -7 cm a los 320 m (Cuadro 8).

Cuadro 8. Rango de valores microtopográficos máximos y mínimos en la cubierta de manglar del testigo sur.

Transecto	Área Conservada	
	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)
Testigo sur	10	-7

Con la finalidad de observar la existencia de diferencias significativas y una vez descrito el comportamiento de la microtopografía para cada uno de los nueve transectos y los dos testigos, se procedió a realizar un estadístico de prueba.

Un primer análisis, se realizó por transecto contemplando el área conservada y la perturbada de las zonas y las áreas cubiertas por manglar de los testigos; al

realizar el estadístico de prueba, se observó que no existen diferencias significativas por transecto y por área, dado que presentan un valor de $p = 0.0509$ ($F = 1.95$).

Cono se puede observar en la figura 11, el rango promedio de distribución microtopográfico encontrado en el área de estudio fue entre -1.5 y 2 cm (sin considerar los puntos extremos y atípicos), es decir, una diferencia de solo 3.5 cm. Otro aspecto importante observado es el rango promedio que presentaron los testigos, siendo ambos, positivos.

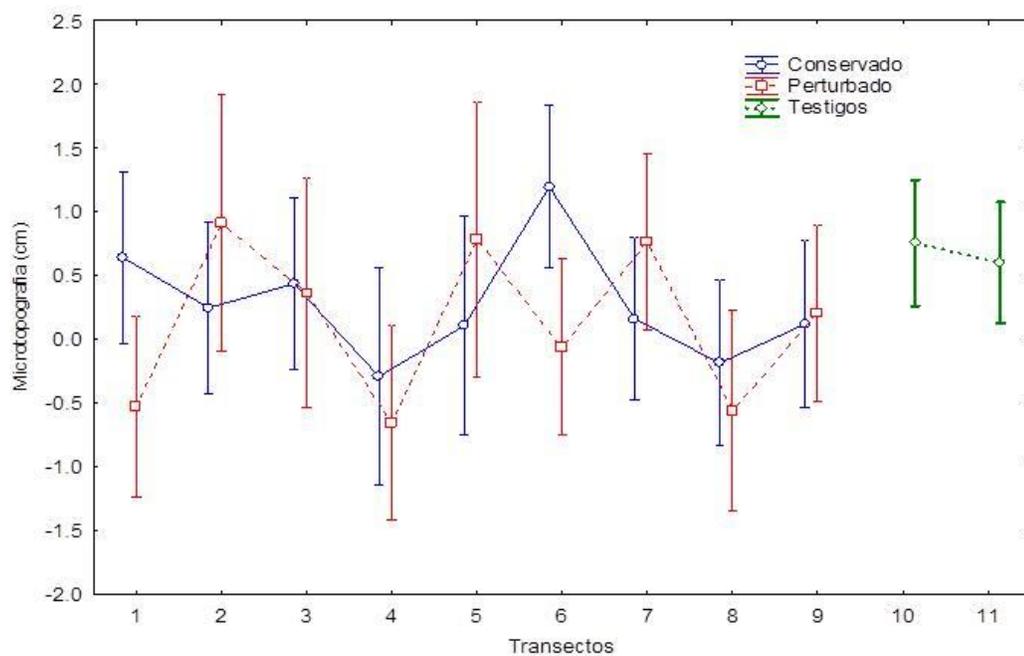


Figura 11. Valores microtopográficos (promedio \pm I. C.) por transecto entre las áreas conservadas y perturbadas y testigos. Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{8, 322} = 1.95$, $p = 0.50$).

Al aplicar el mismo estadístico de prueba, pero por zonas, con relación a las áreas de manglar conservado y perturbado y el área cubierta por manglar de los testigos, no se encontraron diferencias significativas al observar un valor de $p = 0.86$ ($F = 0.86$).

Los rangos de valores microtopográficos promedio comprendidos por zonas son menores que por transectos, con valores entre -0.8 y 0.8 cm, es decir solo 1 cm. A su vez, los transectos testigos en su conjunto, siguen teniendo valores promedio por arriba del nivel de referencia (Fig. 12).

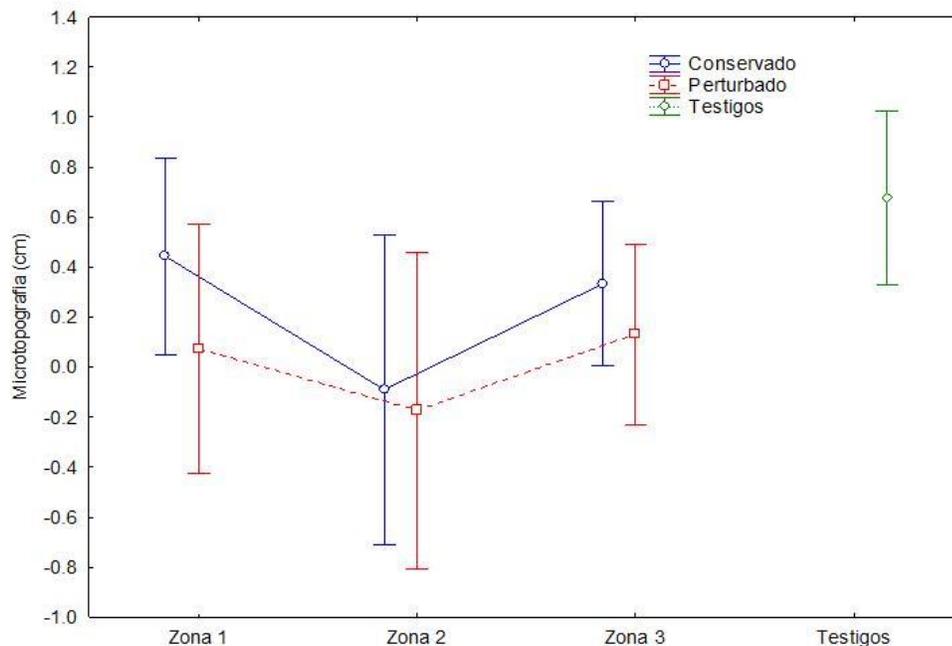


Figura 12. Valores microtopográficos (promedio \pm I. C.) por zonas y testigos conservadas y perturbadas. Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{3, 335} = 0.15$, $p = 0.86$).

Otro análisis que se realizó, fue para identificar diferencias significativas entre las áreas con manglar perturbado (de las tres zonas) y las áreas cubiertas por manglar de los testigos, tanto el ubicado al norte del área de estudio, como al sur de la misma. El estadístico mostró que no existen diferencias significativas ($p = 0.067$; $F = 2.37$); sin embargo se aprecia que el área perturbada si presenta valores por debajo del nivel de agua de la laguna, mientras que los testigos presentan valores positivos (Fig. 13).

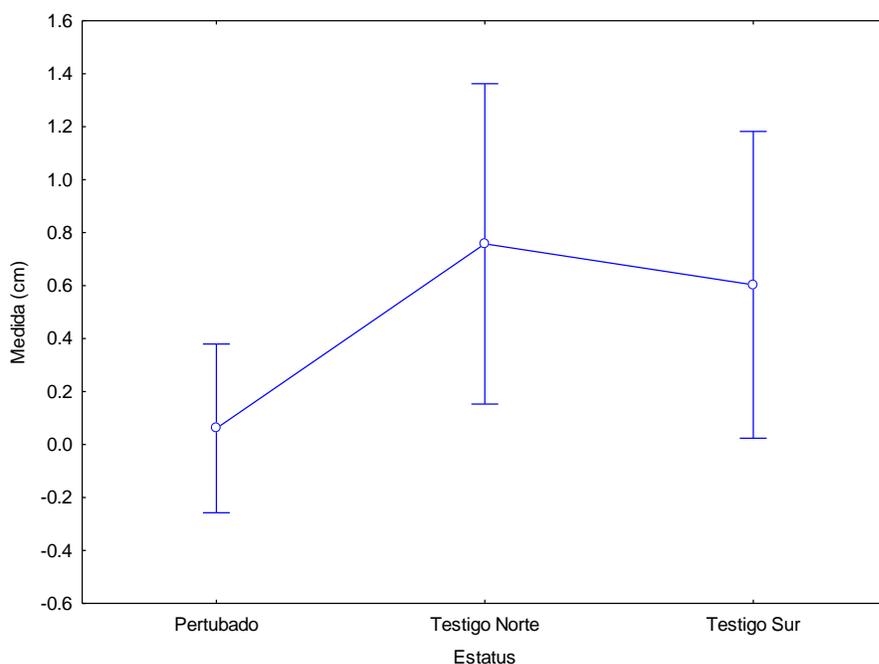


Figura 13. Valores microtopográficos (promedio \pm I. C.) por áreas perturbadas y transectos testigos. Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2, 185} = 2.37$, $p = 0.06$).

Al realizar los análisis estadísticos para encontrar diferencias significativas entre los valores microtopográficos y las áreas conservadas y perturbadas, entre las Zonas I, II y III y entre los testigos, se observó que las diferencias fueron

estadísticamente no significativas, es decir, en las zonas I, II y III (independientemente si es un área conservada o perturbada) se presenta una planicie suave (con diferencias promedio de ± 1 cm) que es similar a los transectos testigos (áreas cubiertas en su totalidad de arboles de mangle) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cuadro resumen del Análisis de Varianza Factorial de los valores microtopográficos en el sitio de estudio.

MICROTOPOGRAFÍA	ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL
<p>9 Transectos en áreas conservadas y perturbadas, y 2 transectos testigos (norte y sur)</p>	<p>➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{8, 322} = 1.95, p = 0.50$).</p>
<p>Agrupación de transectos por Zonas I, II y III, y testigos</p>	<p>➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{3, 335} = 0.15, p = 0.86$).</p>
<p>Agrupación de transectos de áreas perturbadas y testigos (norte y sur)</p>	<p>➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2, 185} = 2.37, p = 0.06$).</p>
<p>El resultado del análisis estadístico establece que, no existen niveles microtopográficos distintos entre todas las áreas, zonas y testigos muestreados.</p>	

6.2. Distribución de las especies de mangle con base en la microtopografía.

6.2.1. Estructura arbórea de los sitios de estudio.

Es importante mencionar que los valores obtenidos de cada una de las especies presentes en las zonas del área de estudio se realizaron exclusivamente en el

área conservada, dado que en la perturbada no se presentan organismos vivos. En los testigos se aplicó en toda su cubierta arbórea de manglar.

Para establecer la distribución de las especies con relación a la microtopografía y realizar estadísticos que mostraran la existencia de diferencias significativas, fue necesario conocer los valores estructurales (Altura y D.A.P.) de los bosques de manglar en cada zona.

Con relación a la composición, se reportan a *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* entre los transectos de las poligonales Z I, II y III y los transectos testigos norte y sur.

La presencia de *R. mangle* y *A. germinans* fue en todas la Zonas y en los dos transectos testigos. *L. racemosa* solo estuvo ausente en la Zona III. Los individuos con un mayor promedio en el D.A.P., se localizaron en la zona II y corresponden a *A. germinans* (28.15 cm), seguidos de *L. racemosa* (25.46 cm) situados en el transecto testigo sur. Los individuos de *R. mangle* (13.30 cm) solo destacan en D.A.P., en la zona II, por debajo de los individuos de *A. germinans*. El valor máximo del D.A.P. encontrado, fue en un individuo de *A. germinans* con 101 cm. es necesario destacar que *L. racemosa* solo presenta un individuo a lo largo de los transectos, tanto en el testigo norte como el sur, siete en la Zona I y tres en la Zona II (Cuadro 10).

Cuadro 10. Valores de DAP (cm) por especies y Zonas y Testigos.

Datos descriptivos de Diametro (cm) de los árboles registrados en el sitio Ramsar No 1602.

Zona	Especie	N	Media	Error estandar	Máximo	Mínimo
Testigo Norte	<i>A.germinans</i>	65	9.5	.42	21.33	4.46
	<i>L.racemosa</i>	1	12.7	.	12.73	12.73
	<i>R.mangle</i>	34	7.1	.48	16.55	3.18
Testigo Sur	<i>A.germinans</i>	65	10.1	.51	24.19	4.14
	<i>L.racemosa</i>	1	25.5	.	25.46	25.46
	<i>R.mangle</i>	34	6.9	.48	16.23	4.14
Zona 1	<i>A.germinans</i>	122	10.6	.53	29.60	3.18
	<i>L.racemosa</i>	7	12.0	3.61	28.65	4.14
	<i>R.mangle</i>	61	7.1	.46	19.10	2.86
Zona 2	<i>A.germinans</i>	116	28.1	1.78	101.00	2.86
	<i>L.racemosa</i>	3	3.8	.37	4.45	3.18
	<i>R.mangle</i>	83	13.3	1.04	43.00	2.86
Zona 3	<i>A.germinans</i>	201	12.9	.47	49.00	2.71
	<i>R.mangle</i>	102	7.5	.71	47.50	2.07

En la figura 14, se observan los D.A.P. por zonas y transectos testigo, siendo notorios los valores de *A. germinans* y *R. mangle* en la Zona II y de *L. racemosa* en el testigo sur. En las otras dos Zonas I y III y el testigo norte, sus valores promedio no sobrepasan los 15 cm de D.A.P.

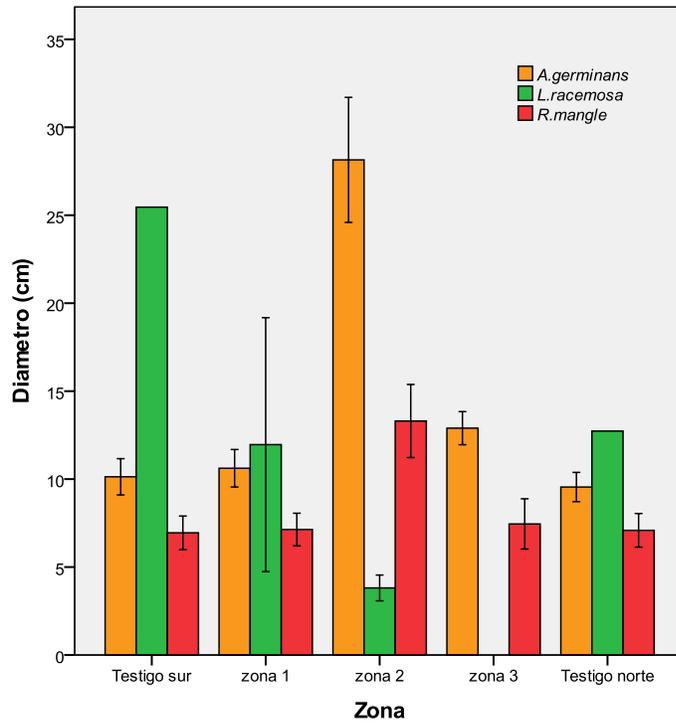


Figura 14. Diámetro a la Altura del Pecho de las especies de mangle por zonas y transectos testigo.

Con relación al promedio de altura de las especies, el más alto fue de *L. racemosa* con 8 m, localizado en el transecto testigo sur. La poligonal Z I, tiene los mayores promedios de altura, 5.2 m para *L. racemosa*, 4.8 m para *A. germinans* y 4.4 m para *R. mangle*. (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valores de Altura por especies, Zonas y Testigos.

Datos descriptivos de la Altura (m) de los árboles de Mangle registrados en el sitio Ramsar No 1602.

Zona	Especie	N	Media	Error estandar	Máximo	Mínimo
Testigo Norte	<i>A.germinans</i>	65	2.7	.14	8.0	1.8
	<i>L.racemosa</i>	1	4.0	.	4.0	4.0
	<i>R.mangle</i>	34	3.0	.16	6.0	2.0
Testigo Sur	<i>A.germinans</i>	65	2.8	.15	8.0	1.8
	<i>L.racemosa</i>	1	8.0	.	8.0	8.0
	<i>R.mangle</i>	34	2.9	.17	6.0	1.8
Zona 1	<i>A.germinans</i>	122	4.9	.15	8.0	2.0
	<i>L.racemosa</i>	7	5.2	.46	7.0	3.5
	<i>R.mangle</i>	61	4.4	.19	8.0	1.5
Zona 2	<i>A.germinans</i>	116	4.8	.19	11.0	1.6
	<i>L.racemosa</i>	3	2.9	.30	3.3	2.3
	<i>R.mangle</i>	83	4.0	.13	7.0	2.0
Zona 3	<i>A.germinans</i>	201	3.8	.12	13.5	1.5
	<i>R.mangle</i>	103	3.6	.15	8.6	1.6

La figura15 muestra una diferencia notable en altura, entre los individuos, por especie presentes en las Zonas contra los Testigos. Solo resalta la altura del único individuo de *L. racemosa* que se presentó en el testigo sur.

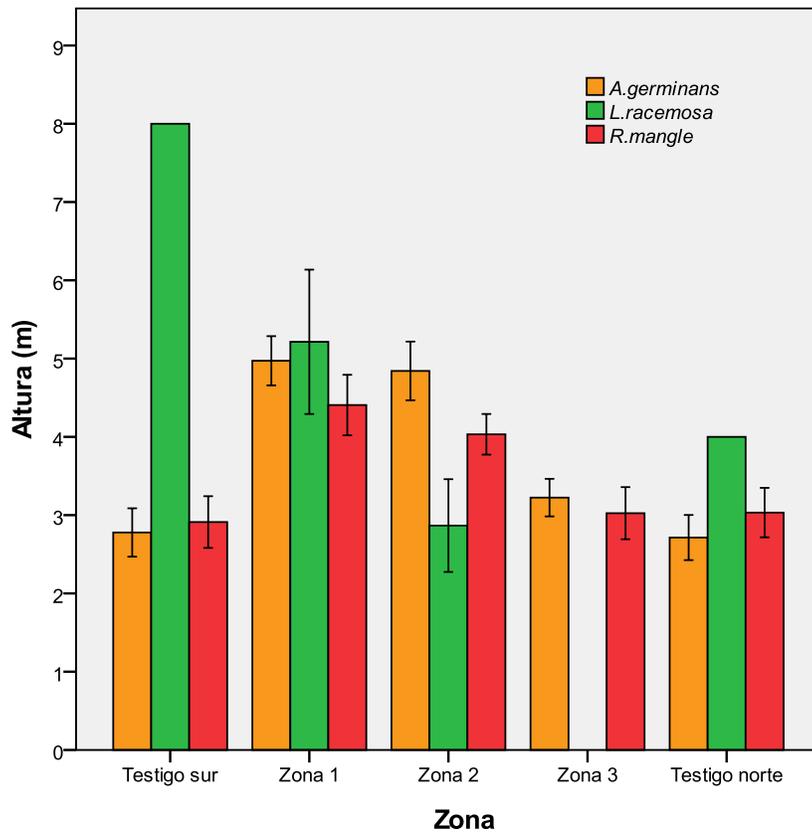


Figura 15. Altura de las especies de mangle por Zonas y transectos testigo.

6.2.2. Distribución de las especies de mangle con base en la microtopografía.

Una vez obtenida la composición de las especies y su estructura, un factor importante para el presente trabajo fue determinar si la distribución de las especies está relacionada con los valores microtopográficos obtenidos. En este sentido, solo se consideraron las áreas conservadas para cada una de las zonas y la cubierta de manglar de los testigos.

Al aplicar un Análisis de Varianza Factorial, la figura 16, muestra que la distribución de las especies con relación al nivel microtopográfico fue significativa ($p < 0.05$; $F = 4.65$) en los nueve transectos de las poligonales Z I, II y III. Se observa, además que, en los transectos 1 y 2, *L. racemosa* se presenta en valores microtopográficos promedio por arriba de 1 cm, aunque en el transecto 5, se pueden encontrar valores negativos. Otro aspecto importante que destacar es que los individuos de *A. germinans* no tienen una presencia con valores promedio superiores a 1.5 cm por encima del nivel de referencia y los individuos de *R. mangle* solo sobrepasan el valor promedio de 1 cm en el transecto 2 y 6. De hecho, los individuos de *A. germinans* y *R. mangle* están distribuidos entre valores promedio de 1.5 cm y -1.5 cm; es decir, están en un rango promedio microtopográfico de 3 cm.

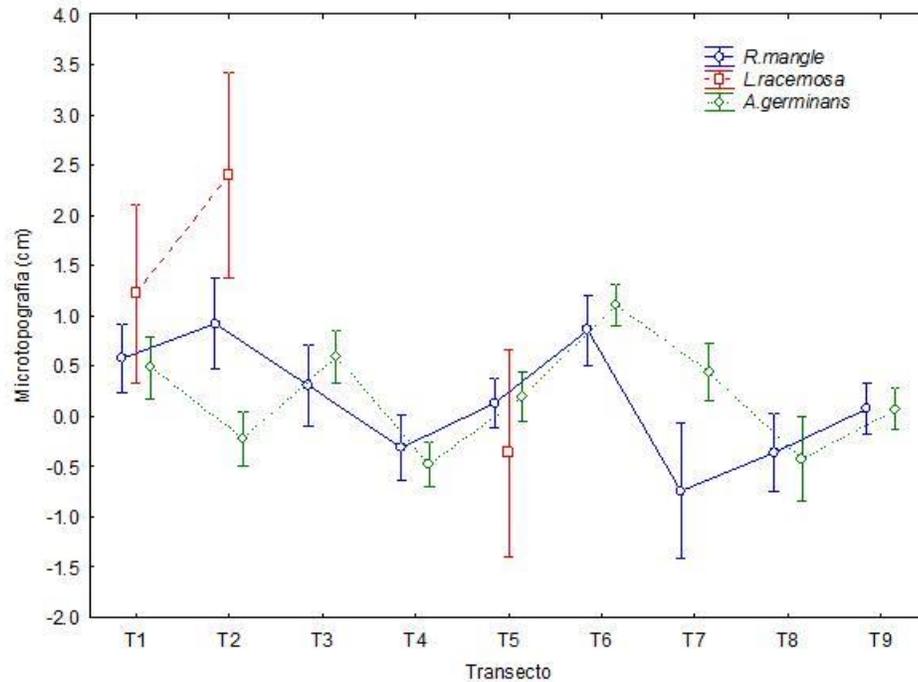


Figura 16. Valores microtopográficos (promedio \pm I.C.) por transecto en la distribución de las especies. Los valores fueron estadísticamente significativos ($F_{10,674} = 4.65$, $p = 0.00$).

Al comparar como se distribuyen los individuos de las especies por Zonas (I, II y III) y los transectos testigos, el estadístico muestra la existencia de diferencias significativas ($p = 0.04$; $F = 2.23$). Otra vez se vuelven notorios, por el rango de valores microtopográficos promedio en el que se encuentran, los individuos de *L. racemosa* (Fig. 17); mientras que los individuos de *A. germinans* y *R. mangle* (en este caso se omite la especie *L. racemosa* en virtud de tener un solo individuo en cada transecto, lo que implica que no exista una fuente de variación), se comportan igual ($p = 0.07$; $F = 2.14$) en las tres zonas y en los transectos testigo (Fig. 18).

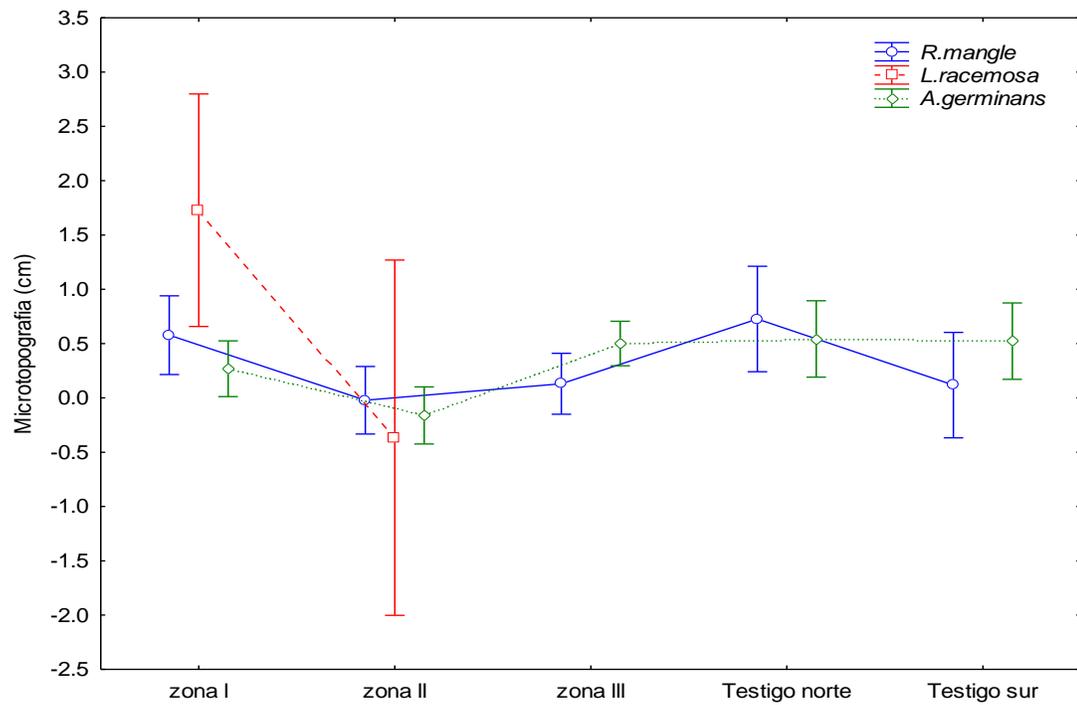


Figura 17. Valores microtopográficos (promedio \pm I. C.) por zonas, testigos y las tres especies. Los valores fueron estadísticamente significativos ($F_{5,871} = 2.23$, $p = 0.04$).

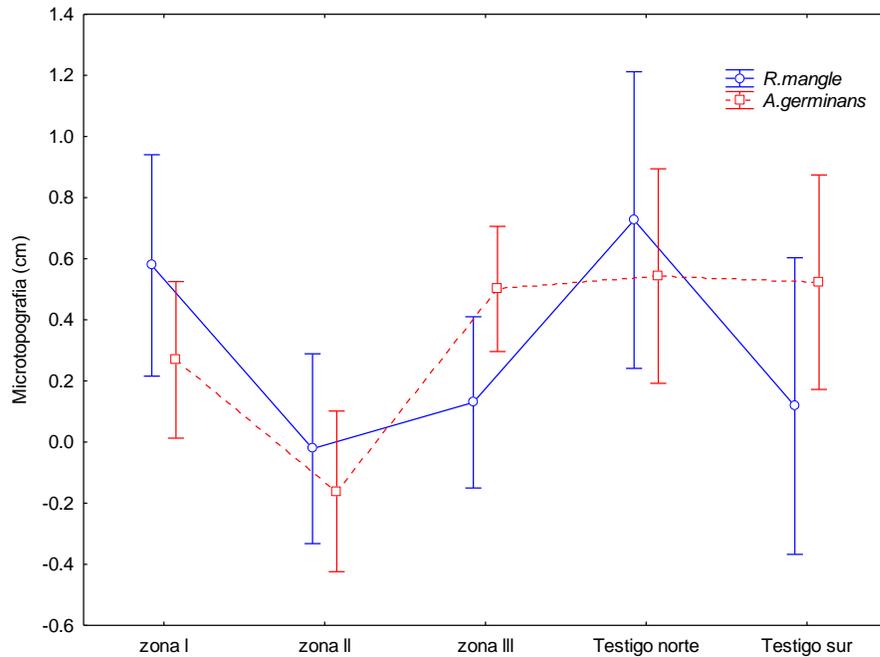


Figura 18. Valores microtopográficos (promedio \pm I. C.) por zonas, testigos y dos especies. Los valores fueron estadísticamente no significativos ($F_{4,863} = 2.14$, $p = 0.07$).

Al aplicar la prueba de Tukey para observar cual especie marca la diferencia significativa, se apreció que la distribución promedio de microtopografía de los individuos de *L. racemosa* presentes en la Zona I hacen diferencia con los valores promedio de los individuos de *A. germinans* de la Zona II, que a su vez, tienen valores microtopográficos promedio diferentes con los individuos de la misma especie en la Zona III.

Al realizar un nuevo análisis, para las zonas, pero sin considerar los testigos, el estadístico de prueba muestra la existencia de diferencias significativas entre las Zonas ($p = 0.00042$; $F = 6.10$). De nueva cuenta es notoria la presencia de *L.*

racemosa en los valores promedio positivos más elevados en la zona I y los más negativos en la zona II (Fig. 19).

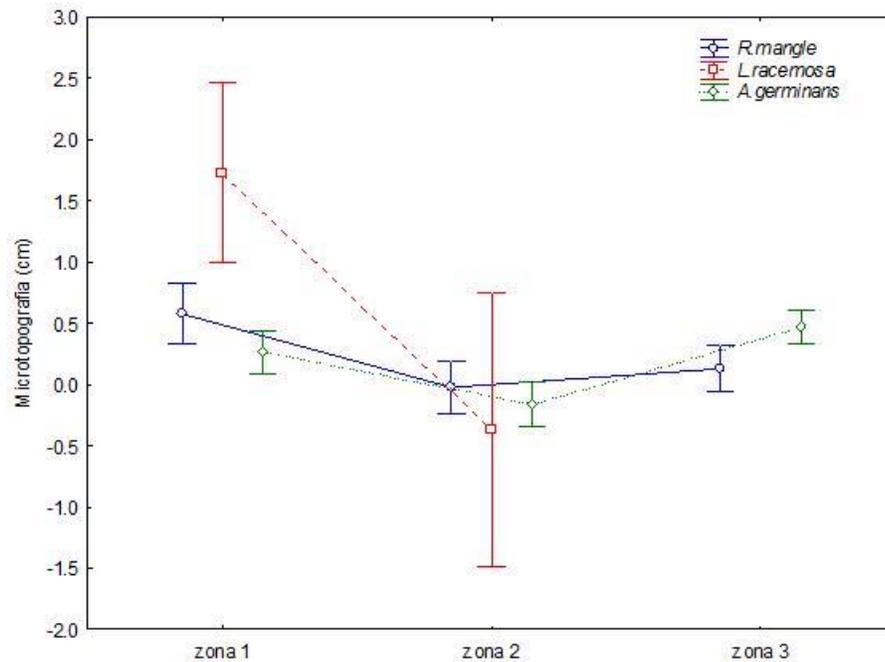


Figura 19. Valores microtopográficos por especie en las tres zonas (promedio \pm I.C.). Los valores fueron estadísticamente significativos ($F_{3, 687} = 6.10$, $p = 0.00042$).

La prueba Tukey, en este caso, establece que la diferencia está dada por los valores microtopográficos promedio reportados para los individuos de *L. racemosa* de la Zona I, con relación a todos los demás individuos de las otras especies, solo con excepción de los individuos de *R. mangle* de la Zona I.

Considerando la distribución microtopográfica promedio de solo los transectos testigo (sin la especie *L. racemosa*), las diferencias no fueron significativas ($p = 0.42$; $F = 0.55$) entre *R. mangle* y *A. germinans* (Fig. 20).

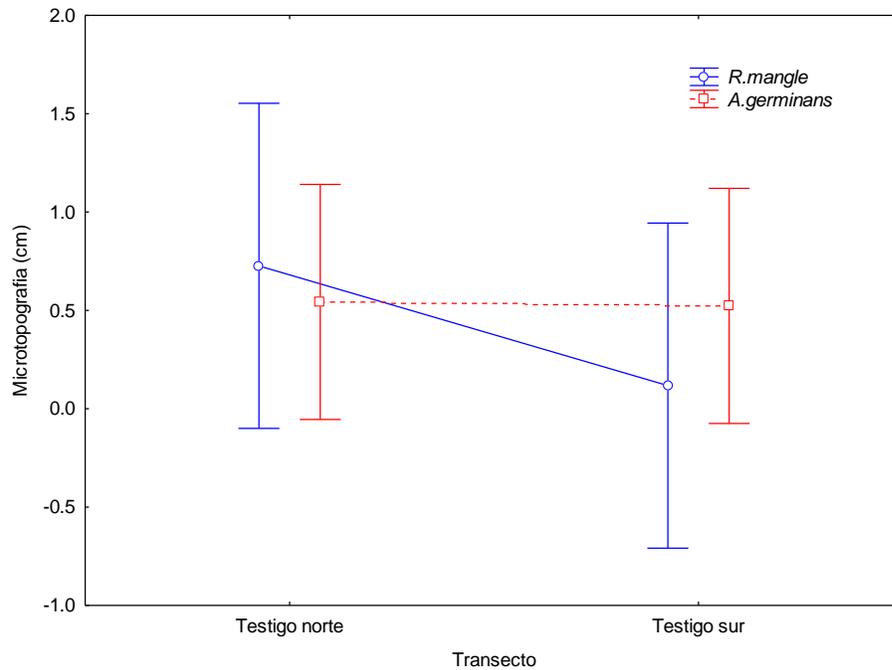


Figura 20. Valores microtopográficos por especie en los testigos (promedio \pm I.C.). Los valores fueron estadísticamente no significativos ($F_{2, 194} = 0.55$, $p = 0.57$).

El cuadro 12, muestra un resumen del Análisis de Varianza Factorial que se realizó para determinar si los valores microtopográficos promedio (a cada 20 m) condicionaban la distribución de los individuos de las especies *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*. Solo los individuos de *Laguncularia racemosa*, muestran diferencias estadísticamente significativas y estas se establecen en valores principalmente positivos, es decir, por encima del valor de referencia del nivel de la laguna.

Cuadro 12. Cuadro resumen del Análisis de Varianza Factorial de los valores microtopográficos y la distribución muestreada de los individuos de *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*.

MICROTOPOGRAFÍA Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL
<p>9 Transectos en áreas conservadas (<i>A. germinans</i>, <i>L. racemosa</i>, <i>R. mangle</i>)</p>	<p>➤ Los valores fueron estadísticamente significativos ($F_{10,674} = 4.65$, $p = 0.00$). <i>Laguncularia racemosa</i></p>
<p>Agrupación de transectos por Zonas I, II y III y testigos (norte y sur) (<i>A. germinans</i>, <i>L. racemosa</i>, <i>R. mangle</i>)</p>	<p>➤ Los valores fueron estadísticamente significativos ($F_{5,871} = 2.23$, $p = 0.04$). <i>Laguncularia racemosa</i></p>
<p>Agrupación de transectos por Zonas I, II y III y testigos (norte y sur) (<i>A. germinans</i>, <i>R. mangle</i>) SIN <i>L. racemosa</i></p>	<p>➤ Los valores fueron estadísticamente no significativos ($F_{4,863} = 2.14$, $p = 0.07$).</p>
<p>Agrupación de transectos por Zonas I, II y III (<i>A. germinans</i>, <i>L. racemosa</i>, <i>R. mangle</i>)</p>	<p>➤ Los valores fueron estadísticamente significativos ($F_{3,687} = 6.10$, $p = 0.00042$). <i>Laguncularia racemosa</i></p>
<p>Transectos testigo norte y sur (<i>A. germinans</i>, <i>R. mangle</i>)</p>	<p>➤ Los valores fueron estadísticamente no significativos (Anova $F_{2,194} = 0.55$, $p = 0.57$).</p>
<p>Los individuos de la especie <i>Laguncularia racemosa</i> muestran que, estadísticamente presenta diferencias significativas con relación a los valores microtopográficos. Cuando se analizan solo los individuos de <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> las diferencias resultan no significativas.</p>	

Otro aspecto importante que se estableció en el presente trabajo, consistió en realizar correlaciones de Pearson entre los parámetros estructurales de D.A.P. y Altura para cada especie con los valores microtopográficos promedio reportados (incluyen las tres Zonas I, II y III y los dos testigos, norte y sur).

En la figura 21, no se observa correlación ($p = 0.85$) entre el D.A.P. de los individuos de *A. germinans* y el rango microtopográfico promedio en que se presentan a lo largo de los transectos. Sin embargo, se puede apreciar una concentración de individuos entre los valores microtopográficos promedio -1.0 y 1.2 cm (en este rango se pueden encontrar valores de D.A.P. desde 5.4 hasta 72 cm); también, se pueden hallar individuos en valores de -4.0 y 8 cm con D.A.P., de 5.4 a 11.1 cm, respectivamente.

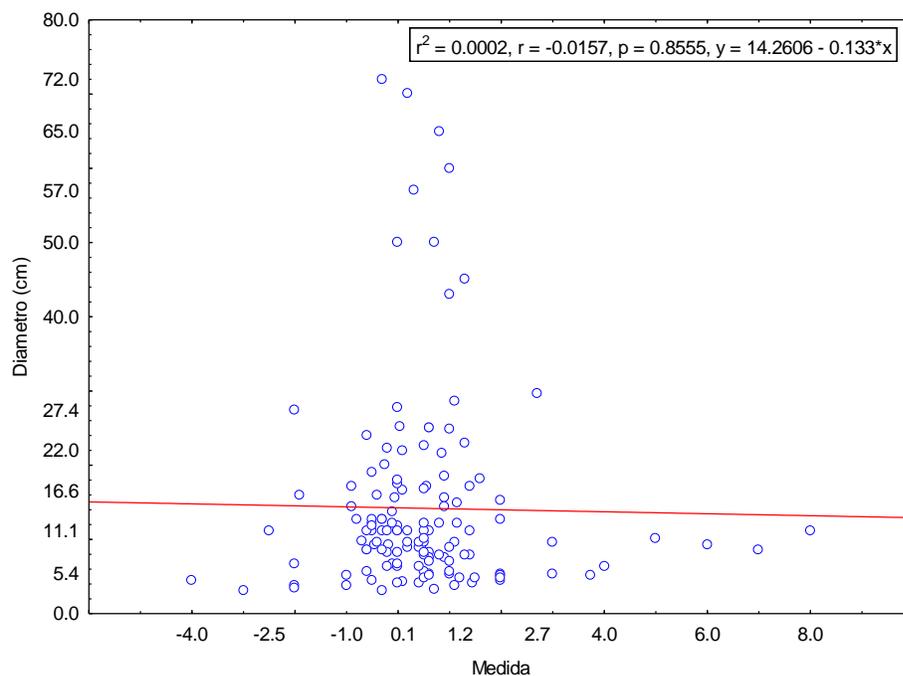


Figura 21. Correlación de Pearson entre D.A.P. de *A. germinans* y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos (promedio \pm I.C.). La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.01$, $p = 0.85$).

Al igual que los valores de D.A.P., la altura de los individuos de *A. germinans* no tienen una correlación ($p = 0.87$) con los valores microtopográficos promedio; la concentración de los individuos es similar con respecto a la altura (-1.0 y 1.2 cm) con alturas de 2 a 10 m (Fig. 22).

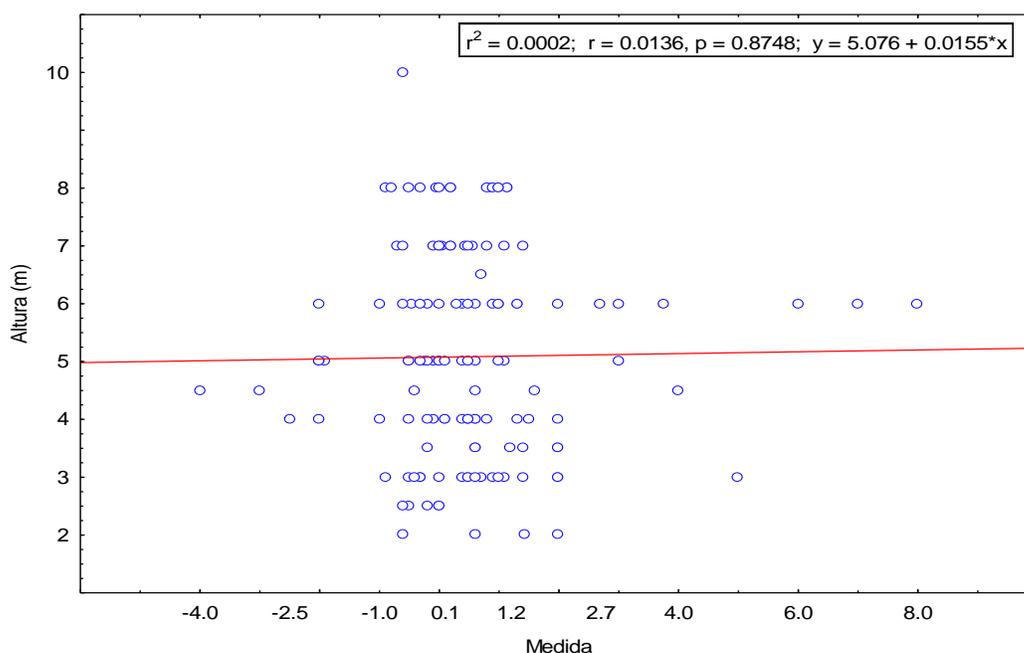


Figura 22. Correlación de Pearson entre altura de *A. germinans* y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos (promedio \pm I.C.). La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.01$, $p = 0.87$).

La figura 23 muestra que, con relación al D.A.P. de los individuos de *R. mangle* y las medidas de microtopografía promedio obtenidas, no presentan una correlación ($p = 0.48$). El arreglo espacial de los individuos tiene su mayor concentración con niveles microtopográficos promedio entre -1 y 1 cm, con D.A.P. de 3.2 a 43 cm; los

individuos de *R. mangle* están presentes, desde un nivel microtopográfico promedio de -7 cm, con un D.A.P. de 6.5 cm, hasta 4 cm y 3.2 cm de D.A.P.

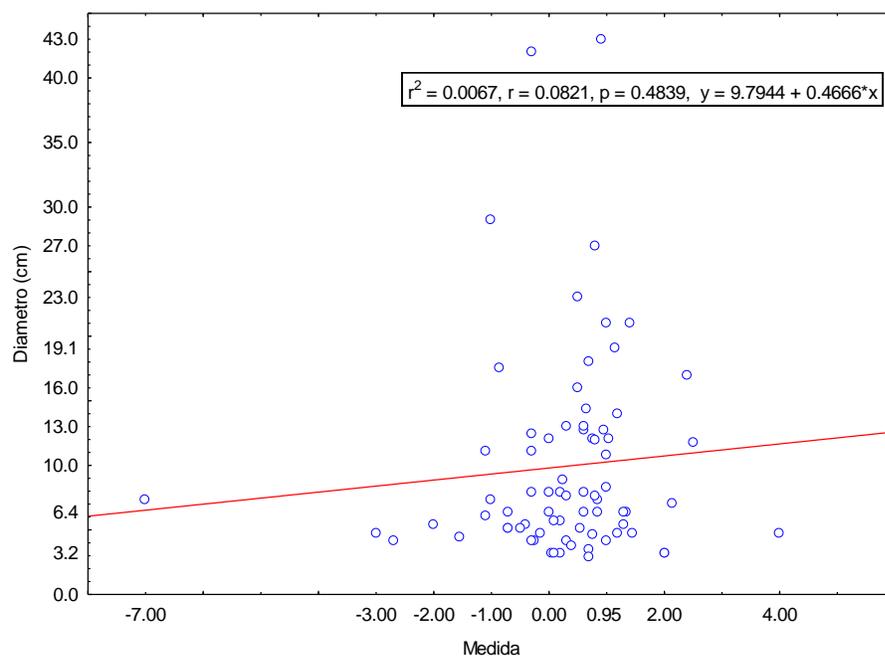


Figura 23. Correlación de Pearson entre D.A.P. de *R. mangle* y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos (promedio \pm I.C.). La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.08$, $p = 0.48$).

Las alturas de los individuos presentes de *R. mangle* no presentan correlación ($p = 0.20$) con las medidas de microtopografía promedio de los transectos. Los árboles más altos tienen 7 y 8 m de altura y se distribuyen entre -1 y 2 cm, de la misma forma, los más bajos de 1.5 a 2.5 m, tienen una distribución microtopográfica promedio, similar a los árboles más altos (Fig. 24).

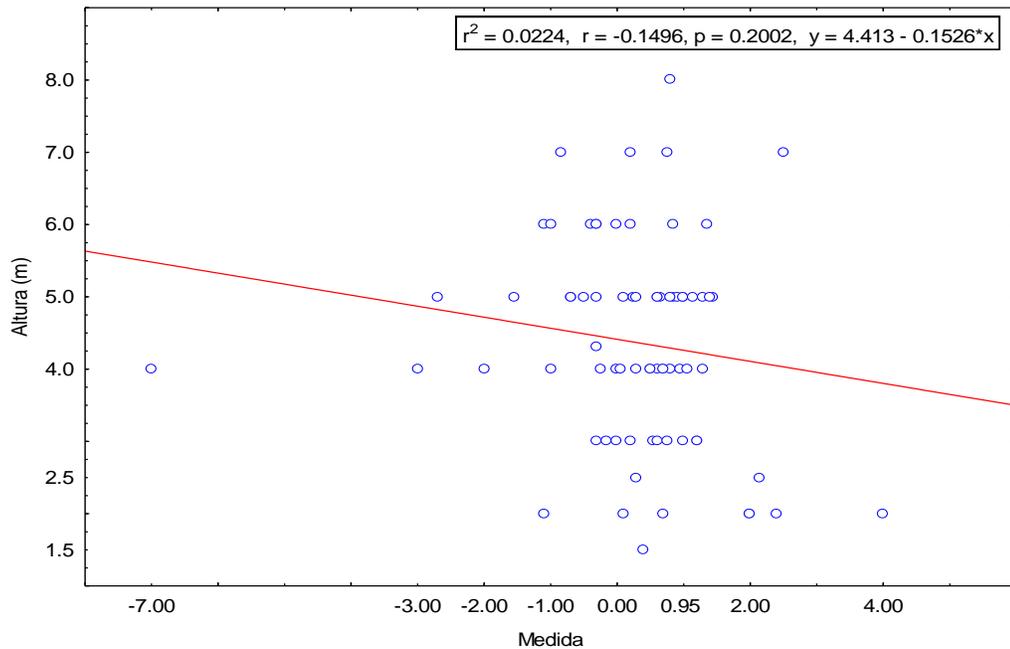


Figura 24. Correlación de Pearson entre altura de *R. mangle* y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos (promedio \pm I.C.). La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.02$, $r = 0.14$, $p = 0.20$).

Al llevar a cabo una correlación de los valores de D.A.P. de los individuos de *L. racemosa* con los datos promedio del perfil microtopográfico, se observó que no es significativa ($p = 0.51$).

Lo que se puede apreciar en la figura 25, es su preferencia en su distribución por valores positivos, es decir, siempre por arriba del nivel de referencia. La presencia de los individuos esta dentro de los valores microtopográficos promedio de -0.80 y 3.30 cm y sus D.A.P. varían de 4 a 28 cm.

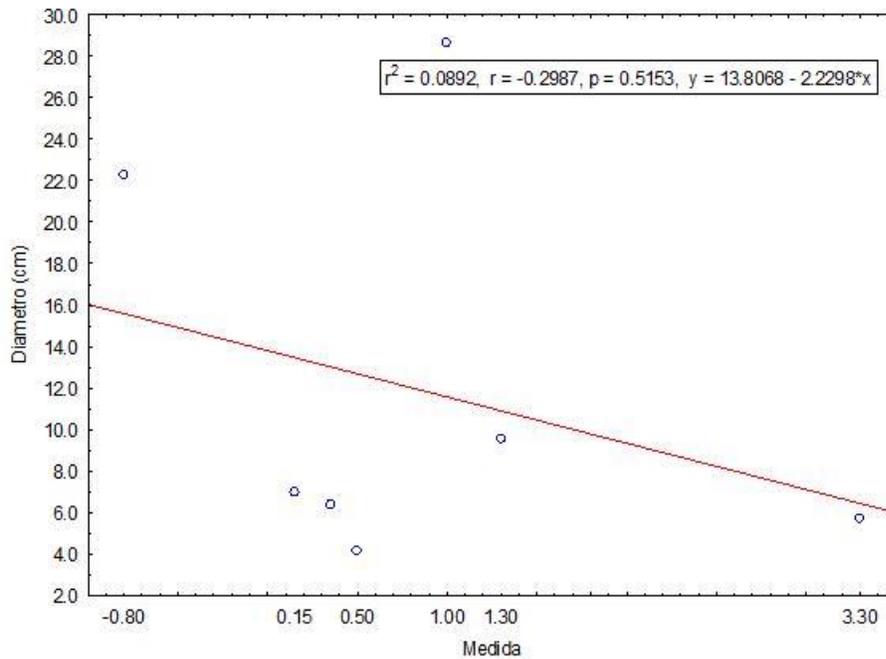


Figura 25. Correlación de Pearson entre D.A.P. de *L. racemosa* y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos (promedio \pm I.C.). La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.08$, $r = 0.29$, $p = 0.51$).

La distribución de los individuos de *L. racemosa*, se estableció en -0.80 y 3.30 cm de nivel microtopográfico promedio y sus alturas son de 2.5 a 7 m de altura. No se presenta correlación entre estos valores ($p = 0.95$) (Fig. 26).

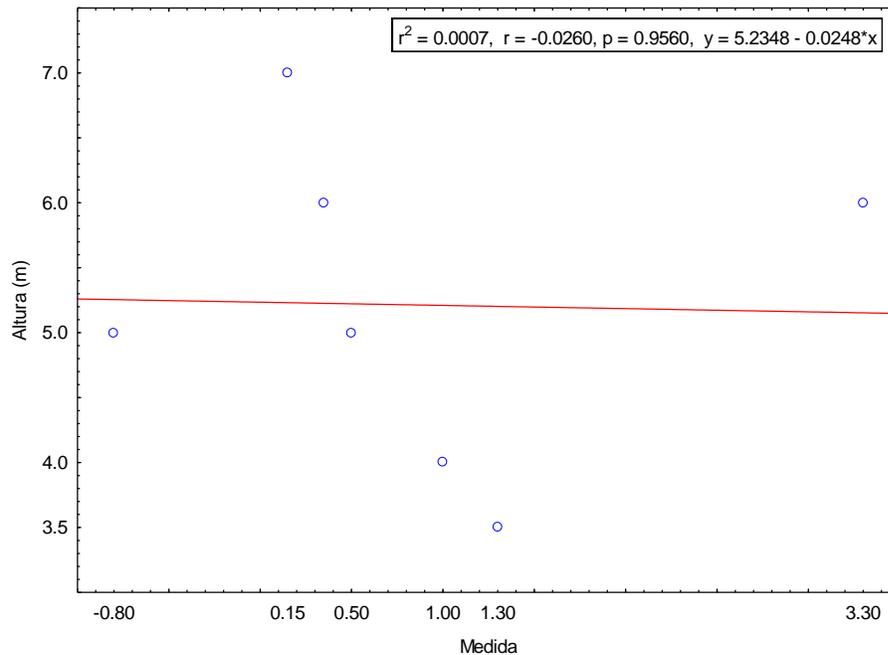


Figura 26. Correlación de Pearson entre altura de *L. racemosa* y valores microtopográficos promedio reportados en los transectos (promedio \pm I.C.). La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.02$, $p = 0.95$).

Con relación a las Correlaciones de Pearson efectuadas a los valores microtopográficos y los valores estructurales de Diámetro a la Altura del Pecho (D.A.P.) y Altura, las diferencias fueron estadísticamente no significativas, es decir, no se tienen D.A.P. o Alturas que estén relacionadas a un determinado valor microtopográfico, aunque si se muestra un determinado agrupamiento de los individuos en valores que oscilan entre el nivel de referencia de la laguna y dos centímetros por arriba del mismo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Cuadro resumen de las Correlaciones de Pearson de los valores microtopográficos y los valores de D.A.P. y Altura muestreados en los individuos de *Avicennia germinans*, *Lagunacularia racemosa* y *Rhizophora mangle*.

CORRELACIONES: ESTRUCTURA (D.A.P. y Altura POR ESPECIES Y MICROTOPOGRAFÍA	CORRELACIÓN DE PEARSON
Agrupación de transectos por Zonas I, II, III y testigos (norte y sur (D.A.P./ <i>A. germinans</i>)	➤ La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.01$, $p = 0.85$)
(Altura/ <i>A. germinans</i>)	➤ La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.01$, $p = 0.87$)
(D.A.P./ <i>L. racemosa</i>)	➤ La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.08$, $r = 0.29$, $p = 0.51$)
(Altura/ <i>L. racemosa</i>)	➤ La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.02$, $p = 0.95$)
(D.A.P./ <i>R. mangle</i>)	➤ La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.00$, $r = 0.08$, $p = 0.48$)
(Altura/ <i>R. mangle</i>)	➤ La correlación fue estadísticamente no significativa ($r^2 = 0.02$, $r = 0.14$, $p = 0.20$)
El resultado de las correlaciones efectuadas para establecer si los valores estructurales de D.A.P. y Altura de cada una de las especies con relación a los valores microtopográficos en los que se presentan los individuos muestran que, las diferencias fueron estadísticamente no significativas.	

6.3. Hidroperíodo superficial y subsuperficial en temporadas de lluvias, nortes y secas.

6.3.1. Hidroperíodo superficial.

En la prueba estadística de hidroperíodo superficial entre las zonas I y II comparado con los meses de mayo a diciembre, se obtuvieron valores de

inundación estadísticamente similares ($p = 0.97$; $F = 0.97$), es decir las diferencias no son significativas (Fig. 27).

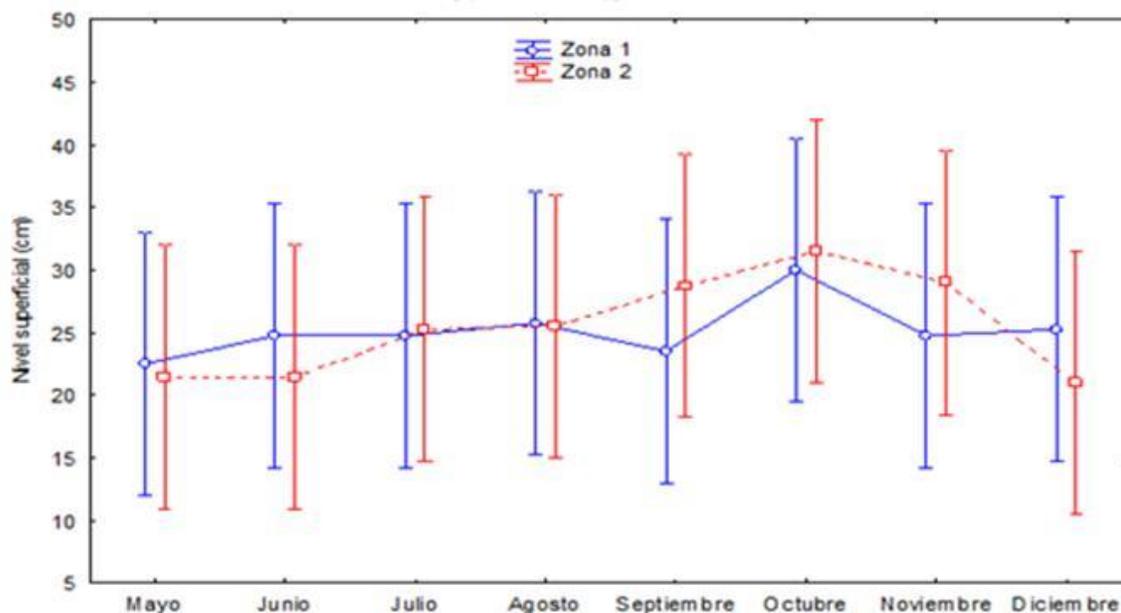


Figura 27. Niveles de inundación superficial durante el periodo mayo a diciembre de 2014 en la zona I y II (promedio \pm I. C.). Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7,16} = 0.22$, $p = 0.97$).

Al hacer el mismo estadístico, pero en este caso, entre áreas (perturbada y conservada) con relación a los meses de mayo a diciembre, se obtuvo un valor de $p = 0.18$ ($F = 0.18$), que representa la no existencia de diferencias significativas (Fig. 28).

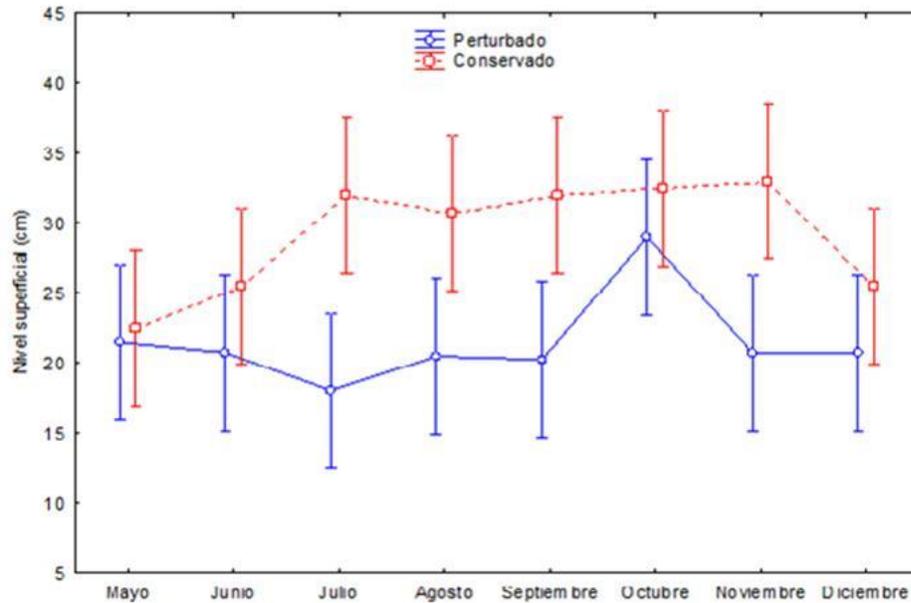


Figura 28. Niveles de inundación superficial en los meses de mayo a diciembre de 2014 en las áreas Conservada y Perturbada (promedio \pm I. C.). Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7,16} = 1.69$, $p = 0.18$).

Con relación a las temporadas (Secas, Lluvias y Nortes), al aplicar el estadístico por Zonas I y II, el valor que se obtuvo fue de $p = 0.97$ ($F = 0.02$), por lo que no se encuentran diferencias significativas en temporadas con relación a Zonas (Fig. 29).

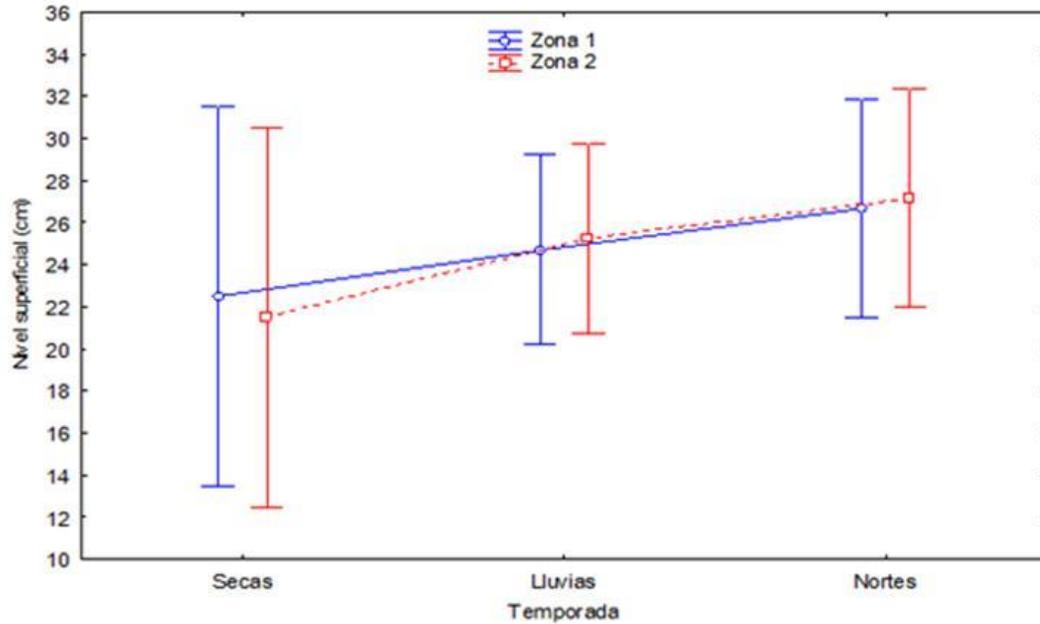


Figura 29. Niveles de inundación superficial en temporadas de secas, lluvias y nortes de 2014 en las zonas I y II (promedio \pm I. C.). Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2, 26} = 0.02$, $p = 0.97$).

Aplicado el Análisis, en este caso para las temporadas de secas, lluvias y nortes con relación a las zonas Conservada y Perturbada, no se obtuvieron diferencias significativas al reportar un valor de $p = 0.14$ ($F = 2.08$) (Fig. 30).

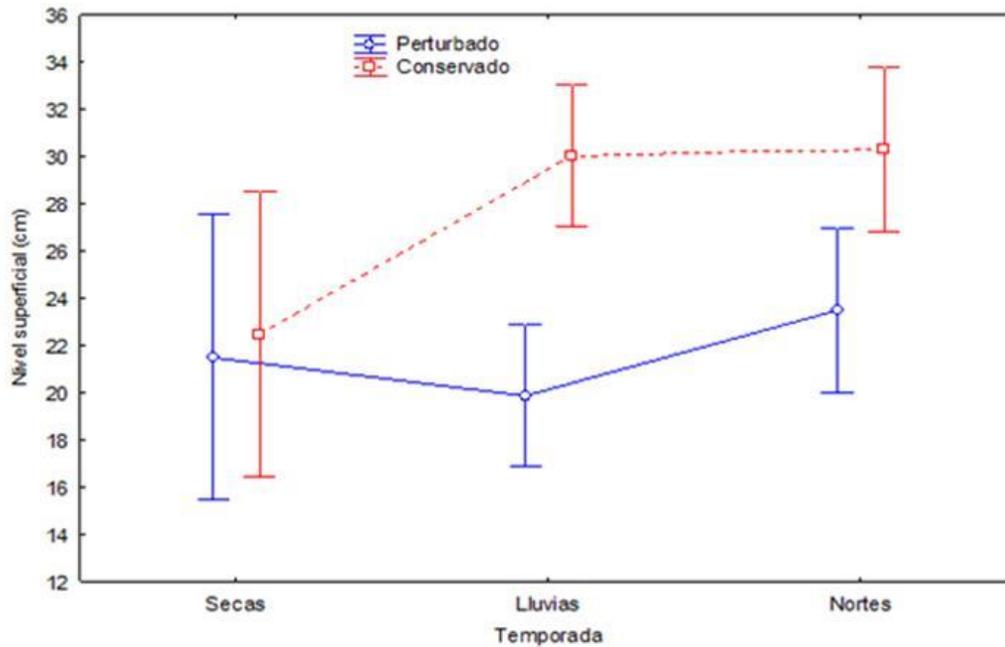


Figura 30. Niveles de inundación superficial temporadas secas lluvias y nortes de 2014 en las áreas conservada y perturbada (promedio \pm I. C.). Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2,26} = 2.08$, $p = 0.14$).

6.3.2. Hidroperíodo subsuperficial.

Para el nivel de inundación subsuperficial se tomaron medidas mensualmente (de mayo a diciembre de 2014) en los piezómetros colocados en el área conservada y perturbada. Al aplicar un Análisis de Varianza Factorial para determinar la existencia de diferencias significativas entre los meses muestreados y los niveles de agua subsuperficiales se obtuvo un valor de $p = 0.99$ ($F = 0.13$), indicando que no se presentan diferencias significativas entre los valores (Figura 31).

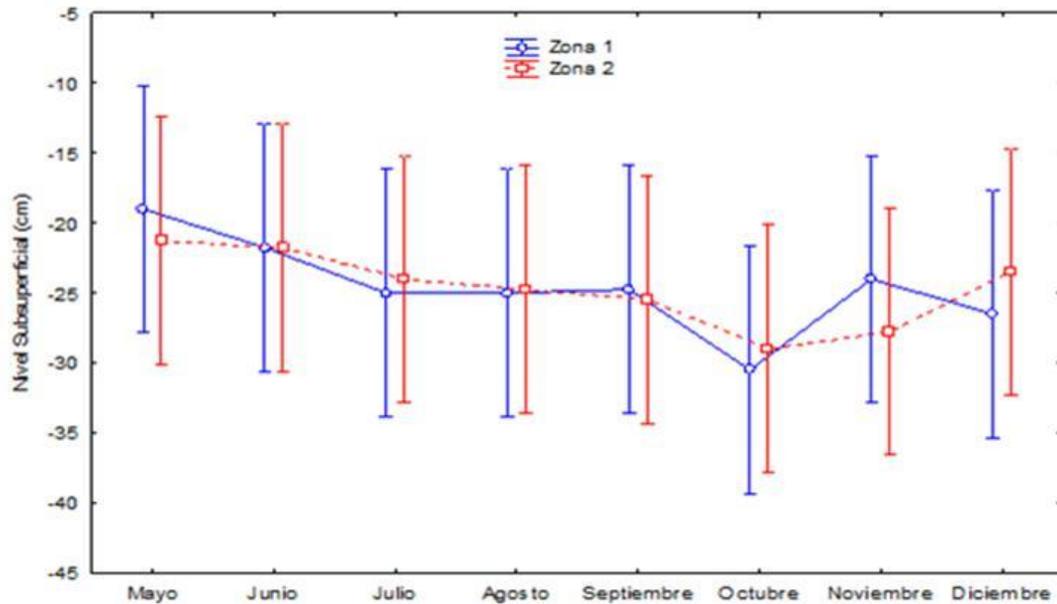


Figura 31. Niveles de inundación subsuperficial en los meses de Mayo a Diciembre en las zonas I y II (promedio \pm I. C.) Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7,16}=0.13$, $p = 0.99$).

El nivel de agua subsuperficial en el área conservada y perturbada no presenta diferencias significativas al aplicarle el Análisis de Varianza Factorial, su valor de $p > 0.05$ ($p = 0.47$; $F = 0.99$) (Fig. 32).

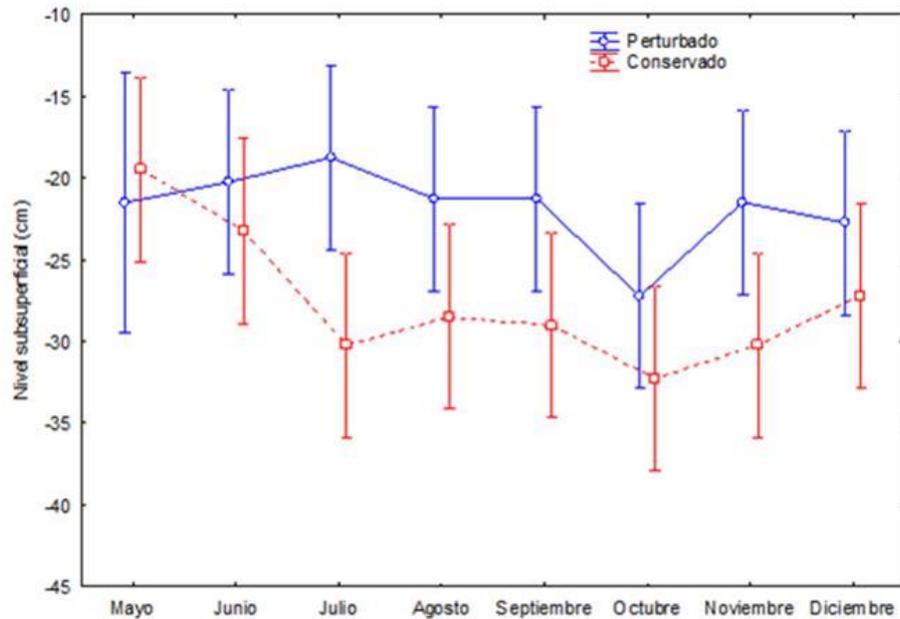


Figura 32. Niveles de inundación subsuperficial registrados de mayo a diciembre en la zonas conservada y perturbada (promedio \pm I. C.) Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7,15} = 0.99$, $p = 0.47$).

Cuando se analizan los valores de nivel de agua subsuperficial, pero con relación a las temporadas de secas, lluvias y nortes entre las Zonas I y II, el estadístico de prueba muestra que no existen diferencias significativas, su valor de $p = 0.97$ ($F = 0.02$) (Fig. 33).

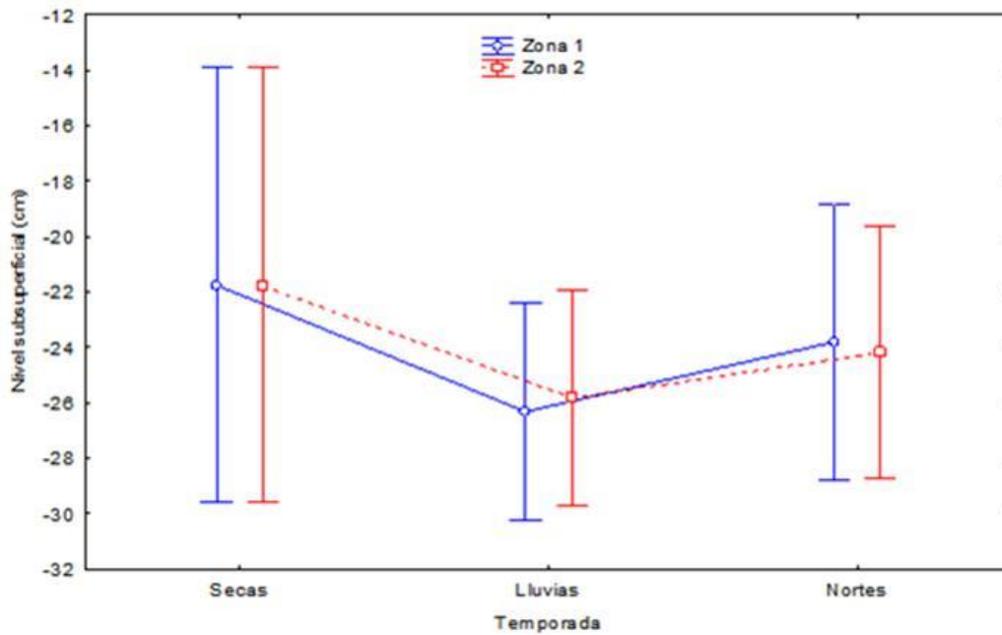


Figura 33. Niveles de inundación subsuperficial en las zonas uno y dos en temporadas de secas, lluvias y nortes (promedio \pm I. C.) Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2,25}=0.02$, $p = 0.97$).

Para la temporada de secas, lluvias y nortes en la zonas conservada y perturbada se obtuvo un valor de $p = 0.325$ ($F = 1.08$), el cual no muestra diferencias significativas (Fig. 34).

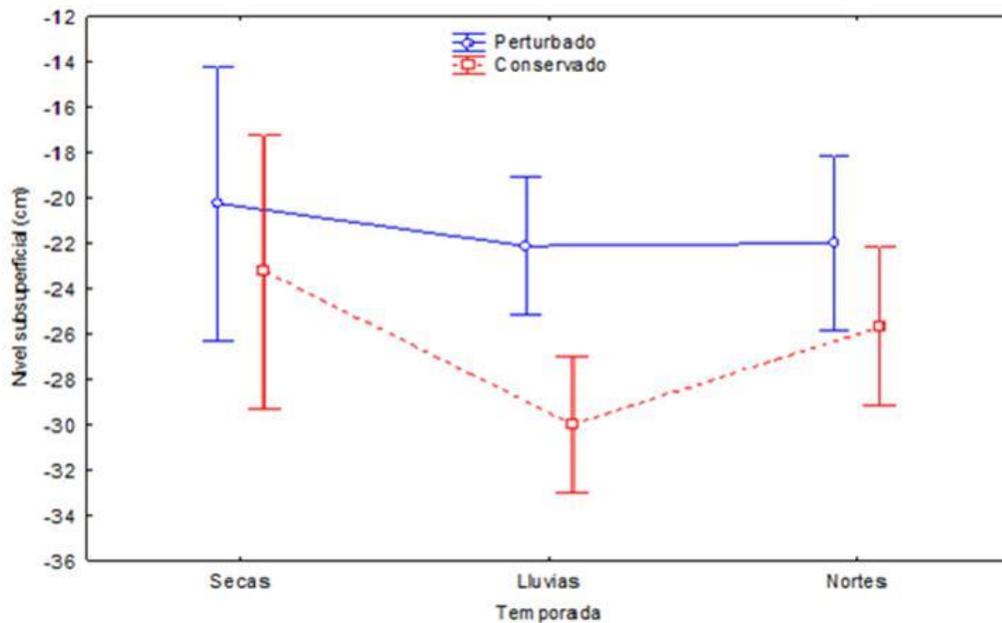


Figura 34. Niveles de inundación subsuperficial en las áreas conservada y perturbada en temporadas de secas, lluvias y nortes (promedio \pm I. C.) Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2,25} = 1.08$, $p = 0.35$).

En el cuadro 14, se muestra el resumen de los Análisis de Varianza Factorial que se realizaron para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores encontrados en el nivel de inundación superficial y subsuperficial de las Zonas I y II, a lo largo de seis meses (mayo a diciembre de 2014), mismos que se encuentran dentro de tres temporadas (secas, lluvias y nortes) que son reconocidas en el área de estudio. Al igual que los valores microtopográficos, el análisis establece que, las diferencias fueron estadísticamente no significativas, es decir, se presenta el mismo nivel de inundación superficial y subsuperficial a lo largo de los meses muestreados; lo que destaca es que la inundación superficial

es permanente en las zonas I y II, alcanzando valores mínimos de 12 cm y máximos de 38 cm.

Cuadro 14. Cuadro resumen del Análisis de Varianza Factorial de los valores de inundación superficial y subsuperficial de mayo a diciembre de 2014.

HIDROPERÍODO (Mayo-Diciembre 2014)	ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL
SUPERFICIAL	
Meses de muestreo entre agrupación de piezómetros de Zonas I y II	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7, 16} = 0.22, p = 0.97$)
Meses de muestreo entre agrupación de piezómetros de áreas conservadas y perturbadas	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7, 16} = 1.69, p = 0.18$).
Temporadas de muestreo (secas, lluvias y nortes) entre agrupación de piezómetros de Zonas I y II	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2, 26} = 0.02, p = 0.97$).
Temporadas de muestreo (secas, lluvias y nortes) entre agrupación de piezómetros de áreas conservadas y perturbadas	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2, 26} = 2.08, p = 0.14$).
SUBSUPERFICIAL	
Meses de muestreo entre agrupación de piezómetros de Zonas I y II	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7, 16} = 0.13, P = 0.99$).
Meses de muestreo entre agrupación de piezómetros de áreas conservadas y perturbadas	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{7, 15} = 0.99, P = 0.47$).
Temporadas de muestreo (secas, lluvias y nortes) entre agrupación de piezómetros de Zonas I y II	➤ Las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($F_{2, 25} = 0.02, P = 0.97$).
Temporadas de muestreo (secas, lluvias y nortes) entre agrupación de piezómetros de áreas conservadas y perturbadas	➤ Las diferencias fueron estadísticamente no significativas ($F_{2, 25} = 1.08, P = 0.35$).

VII. DISCUSIÓN

La distribución microtopográfica en un bosque de manglar determina la zonación de las especies a lo largo de la franja del bosque, debido a que ésta presenta una estrecha relación con el hidropériodo, las características químicas del agua superficial e intersticial y con ello el establecimiento de las especies de mangle y su límite de distribución (Agraz *et al.*, 2010). Dentro los primeros 205 m de los transectos en las poligonales Z I, Z II y Z III se encontró un manglar mixto de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, dentro de esta distancia, a los 135 m se encontró a *Laguncularia racemosa*; a partir de los 220 m se presentó un manglar monodominante de *A. germinans*. Estas modificaciones en la distribución de las especies se presentaron sin cambios considerables en el relieve o topografía por lo que, para el caso del presente trabajo, no se encontró que la microtopografía afecte la distribución de las especies. La ausencia de *R. mangle* después de los 220 m es debida más a la falta de arrastre de los propágulos por nivel de mareas y a su arraigo entre los neumatóforos, que a las condicionantes microtopográficas.

Cuando se relacionan la distribución de las diferentes especies de manglar a lo largo de un perfil de vegetación en un estudio microtopográfico, para la Reserva de la Biósfera de los Petenes en el Arenal El Cuyo, se reportan variaciones microtopográficas de -103 a 29 cm a lo largo de 168 m de un transecto y de 0 a

23 cm en 21 m de largo de otro (valores expresados respecto al nivel medio del mar), en la misma Reserva, pero en la localidad de márgenes del Río Chupeten, se tienen modificaciones del gradiente topográfico, para dos puntos, de -9.5 cm a 14.1 cm y de -47 a 46 cm (González *et al.*, 2010). Con relación a los intervalos microtopográficos en los que se encuentran las especies, en la Laguna de Términos, Campeche, se establecen diferencias entre tipos de manglar (borde vs. matorral) de 10 cm, reportando plántulas de *A. germinans* en un intervalo de -13 a 21.7 cm, pero de árboles, entre 0.0 y 14.7 cm y de árboles de *R. mangle* de -3.7 a -23.3 cm, a su vez se reporta un manglar muerto con niveles microtopográficos de 20 a 62.8 cm (Agraz *et al.*, 2010). Otros autores, reportan gradientes microtopográficos de *R. mangle* con niveles que oscilaron de -66.5 a 59 cm, de *L. racemosa* de -37 a 61 cm, *A. germinans* de 21 a 62 cm y *Conocarpus erectus* 48.5 a 137.5 cm con respecto al nivel medio de marea baja en el estero de Urías, Sinaloa (Monroy *et al.*, 2010). A su vez, en un área de manglar del sitio Ramsar 1602, estableció que el manglar se presenta desde los -30 a los 53 cm (Cruz-Lucas, 2010). En el presente trabajo las especies de *R. mangle* están reportadas en promedios con intervalos de -7.0 a 4.0 cm y de *A. germinans* de -4.0 a 8.0 cm, cabe hacer notar que los valores negativos y positivos no son tan grandes como los reportados por los anteriores autores, por lo que se puede establecer que los microrelieves encontrados en el presente trabajo no presentan discontinuidades abruptas y que esto establece que no se presenten diferencias estadísticamente significativas a lo largo de los transectos, además esto permite que la distribución

observada sea uniforme en las especies de mangle (sobre todo de *A. germinans* y *R. mangle*).

Los manglares prefieren aquellas planicies con gradientes topográficos suaves (microtopografía), debido a que de manera natural permiten que el agua salada o dulce penetre en los suelos del manglar, pero además, determina un gradiente de inundación que resulta selectivo para cada especie (Monroy-Torres, 2005). Esto a su vez, permite la colonización de una u otra especie dando así la zonación (Lugo y Cintron, 1975; Flores-Verdugo, 1989). Los transecos realizados para este trabajo, presentaron gradientes topográficos que se pueden considerar suaves, dado que se observó la penetración del agua de la laguna de Tampamachoco hasta el final de los mismos.

Cambios en la topografía menores a 10 cm (microtopografía) dan lugar a distintos tipos de comunidades de humedales en la Laguna de la Mancha, Veracruz (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). Otro ejemplo proviene del estudio en Boca Cegada, Nayarit, donde la diferencia entre la presencia de mangle negro (*A. germinans*) y su ausencia en una marisma es de 2 a 7 cm (Flores-Verdugo *et al.* 1995). En el estero de Urías Agraz-Hernández (1999) observó que las plántulas de dos especies de mangle poseen un rango de distribución topográfica más limitado que el de los adultos y los límites de la distribución de ambas especies, la diferencia es de solo 5.5 cm. En el presente trabajo existen cambios en la microtopografía superiores a los 7 cm, pero esto no influye en una zonación de las especies,

porque aunque se presentó un cambio de manglar mixto de *R. mangle* y *A. germinans* a monodominante de *A. germinans* no se aprecia un cambio estadísticamente notorio del patrón de relieve entre las dos asociaciones de manglar.

Existen pocos trabajos que realicen una relación o correlación estadística entre la microtopografía y los parámetros estructurales (Altura o D.A.P.) de las especies de mangle, por ejemplo Domínguez-Cadena (2011) en la Bahía de la Paz, Baja California lleva a cabo una medición de los parámetros estructurales de *A. germinans*, *L. racemosa* y *R. mangle* y los relaciona con cuatro tipos microtopográficos (establecidos arbitrariamente por los autores) que son Costa (las plantas tienen contacto permanente con el agua de mar), Canal (condición donde el agua del mar fluye hacia el interior del manglar pero durante las bajamar extremas el sustrato se descubre por algunas horas), Inundación permanente (condición donde si bien regularmente el agua se retira por acción de la bajamar, el sustrato permanece saturado de manera continua) e inundación temporal (condición más alejada y elevada del manglar, solo la pleamar extraordinarias del año la alcanzan). Tomando esta consideración y haciendo una extrapolación a los resultados de la microtopografía e hidroperíodo en el presente trabajo, se contemplarían las condiciones de inundación permanente para la comparación de datos. Otro aspecto que es importante aclarar es la situación de la localización más latitudinal al norte, en donde se reporta que los manglares son menos estructurados (López-Portillo y Ezcurra, 2002). Para la condición de canal

inundación permanente, se tienen alturas de, *A. germinans*, 2.95 ± 1.08 m, *L. racemosa*, 3.34 ± 1.12 m y *R. mangle*, 3.19 ± 1.12 m. El promedio de alturas por especie obtenido en las poligonales Z I, Z II y Z III en su área conservada, la cual durante el tiempo de estudio presentó inundación permanente, es de 4.5 m para *A. germinans*, 2.7 m en *L. racemosa* y 4.00 m presente en *R. mangle*.

Diversos autores mencionan que distintos tipos de humedales varían en su composición florística y en su estructura, pero también en su hidroperíodo (Flores-Verdugo *et al.*, 1995; Rico-Gray y Palacios, 1996; Martínez *et al.*, 1997; Agraz-Hernández, 1999; Méndez, 2003). Este componente es una de las características vitales de los humedales para su permanencia, establecimiento, regeneración, sucesión y procesos ecológicos (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). En los humedales la fluctuación en el nivel de agua puede tener diferentes causas, por ejemplo, el incremento de la superficie de un cuerpo de agua, la acumulación de agua de lluvia directa y por escurrimientos (Moreno-Casasola y Warner, 2009), en el presente trabajo se presentó una fluctuación de agua, probablemente debida a la apertura de canales, en 2011, en los tres terraplenes que dividían al bosque de manglar en el sitio de estudio.

Diversos autores han trabajado con los niveles de inundación que se presentan en los bosques de manglar, para el caso del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos y la Reserva de la Biósfera Los Petenes en Campeche, con base a lo establecido por Schnetter (2002), que determina el nivel de agua

mediante la altura y densidad de los neumatóforos, se reportan valores de altura de neumatóforos desde 10.4 (± 0.9) hasta 55 cm (± 1.3) para seis diferentes sitios de muestreo, lo que muestra patrones de inundación máximos y mínimos a lo largo de los periodos estacionales (Agraz *et al.*, 2012). Los valores máximos y mínimos reportados en el presente trabajo, con base a mediciones mensuales del nivel de agua, reportan de 12 a 40 cm, valores muy similares a los encontrados por los autores; no es posible realizar una comparación por las estaciones del año debido a que, en el estudio citado, establecen una inferencia de inundación, lo que si muestra el presente trabajo, es que el valor mínimo está relacionado con el mes de mayo y el máximo con el mes de octubre (ocurrencia en temporada de secas y lluvias, respectivamente). Con relación al período estacional, en Tlacotalpan, Veracruz se encontró que, en la temporada de lluvias se presentó en nivel más alto de inundación en el mes de octubre, alcanzando un nivel de 57 cm en zonas de regeneración y con valor mínimo de 5 cm, reportando a su vez, que en el mes de abril, en un sitio de muestreo, ya no había inundación (Cruz, 2008). Por su parte, otros autores observan valores de 0 a 27 cm al inicio de la temporada de inundación y de 10 a 90 cm al final, con un valor máximo de 130 cm (Reyes-de la Cruz *et al.*, 2002). Es importante mencionar que el nivel mínimo de inundación en el mes de mayo para el presente trabajo fué de 12 cm. Para otros meses de año, en Isla Cajete, Alvarado, se reporta en el mes de noviembre un máximo de inundación de 38 cm (Hernández, 2010), muy similar al reportado en la poligonal Z II (40 cm) para el mismo mes. Es importante considerar que en los trabajos mencionados se llegan a valores de cero inundaciones en tiempo de secas, lo que

no sucede con los datos observados en el presente trabajo. A nivel internacional, en la Bahía de Portete, Colombia, se reporta un nivel máximo de inundación en tiempo húmedo de 32.07 ± 5.50 cm y un mínimo en tiempo de secas de 7.9 ± 9.84 cm (Molina, 2009), valores muy próximos a los reportados para octubre (35 cm) y mayo (16 cm) en el área conservada estudiada en el presente trabajo.

Con relación al hidroperíodo, y al considerar que el área de estudio contempla un área perturbada (sin vegetación), el período de inundación constante que se presenta en los meses de muestreo, establece una flotabilidad constante de los propágulos de mangle desde el momento de su disseminación reportado por Cruz (2014), en el mes de octubre, *Avicennia germinans* y Noviembre, *Laguncularia racemosa* hasta el término de su viabilidad, que es de 82 días para *A. germinans* y 31 días para *L. racemosa* (Rabinowitz, 1978). Es importante mencionar que el período de muestreo del nivel de inundación del presente estudio (octubre, noviembre y diciembre), integra los días máximos de viabilidad de los propágulos. Este aspecto, ya fue estudiado y se reporta los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* no son tolerantes a las inundaciones, por ejemplo, el propágulos de *L. racemosa* a los pocos días de estar flotando se hunden y los de *A. germinans* continúan flotando y no se establecen (Naidoo, 1985; López-Portillo y Ezcurra 1989; Delgado et al., 2001). Cabe citar que, en la isleta de Cajones, Alvarado en donde la duración de la inundación fue tan amplia que los propágulos de *A. germinans* murieron antes de que bajara el nivel de inundación (Hernández, 2010).

Con relación a la fluctuación del nivel de agua subsuperficial, el trabajo de Sánchez-Arias *et al.* (2010), en la Isla Margarita, Venezuela, presentó en la época seca (abril) el nivel medio de las agua -15 ± 2 cm de la superficie mientras que en época de lluvia (septiembre y octubre) fue de -5 ± 0.5 cm y en época de transición -25 ± 3 cm. cabe mencionar que para los autores la época de transición es de enero y febrero. En el presente trabajo no se tomo la lectura del mes de abril, pero en mayo, se presentó un nivel subsuperficial de -10 a -30 cm, en septiembre y octubre de -15 a -40 cm y por último en diciembre de -15 a -35 cm; la lectura del mes de mayo es muy parecida a la encontrada en abril por Sánchez-Arias *et al.* (op. cit), pero contrario a lo que se esperaría, los valores observados en tiempo de lluvias y nortes, están por debajo del valor de secas, lo que se esperaría es que, los valores en estas épocas se acercaran al nivel de la superficie del suelo. Otro trabajo desarrollado en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia por Ibarra *et al.*, en 2012, reporta un valor máximo de agua subsuperficial en tiempo de secas de -30 cm en Caño Grande y de -10 cm en Rinconada, los valores que se obtuvieron en tiempo de lluvias y transición estuvieron al nivel de la superficie del suelo.

VIII. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se tienen en el presente trabajo son:

- No se encontraron evidencias estadísticas que marquen una diferencia en la microtopografía y el hidoperíodo entre las Zonas I, II y III y entre sus áreas conservada y perturbada. Solo se presentaron diferencias estadísticas en la distribución de las especies en los valores microtopográficos reportados, siendo los individuos de *Laguncularia racemosa* los que se localizan en valores microtopográficos por arriba del valor de referencia del nivel de la laguna. Los individuos de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* se encuentran en valores entre -1.0 y 1.2 cm, principalmente con diferencias de solo 1 o dos centímetros.
- La variable que influye en el sitio de estudio es el nivel de inundación, mismo que, aunque presento fluctuaciones en los meses muestreados, siempre estuvo presente con valores por encima de los 20 cm.
- Debido a la duración de la inundación, se puede concluir que, la regeneración natural en las áreas perturbadas de las poligonales Z I, Z II y Z III no es factible que se lleve a cabo, debido a la constante flotabilidad que tienen los propágulos y al no contar con objetos que los puedan arrigar

(por ejemplo neumatóforos). Se recomienda realizar una restauración de la zona, preferentemente siguiendo criterios de elevaciones artificiales del nivel (acreción).

IX. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRABAJO

En este Sitio de Estudio, la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” las áreas perturbadas y conservadas del bosque de manglar han sido estudiadas bajo distintos enfoques, uno de los cuales estableció la reforestación sobre acreciones inducidas o artificiales, basado en la deducción de una diferencia en la microtopografía entre el área conservada y el área perturbada, para este sitio cabe mencionar que se realizó en el sitio la apertura de canales, para propiciar un flujo laminar por dentro del bosque de manglar, para recuperar el flujo hidrológico hacia el área perturbada, trabajos realizados por el INECOL en 2011.

Esto motivó a la realización de un trabajo más completo que abarcara toda el área perturbada y con un mayor número de transectos, así como su comparación con transectos que tuvieran manglar conservado en todo su recorrido.

De la misma manera, todos los artículos revisados en la literatura mencionan la importancia de realizar un estudio de la microtopografía y el hidroperíodo en un bosque de manglar, sobre todo si se requiere realizar una restauración. Estos dos aspectos son trascendentales para conocer si diferencias en el microrelieve del sustrato del manglar establece condicionantes para la distribución de las especies;

algunos autores han reportado que diferencias en 10, 5 e inclusive 2.7 cm, establecen diferencias en la disposición de las especies de mangle.

El dato importante a resaltar del hidroperíodo, en el sitio, es la inundación las áreas perturbadas en temporada de lluvias, nortes y secas, dado que el la inundación muestra que en estas temporadas es superior a los 20 cm. Este hecho es atribuible a la apertura de los canales en los terraplenes de las líneas de transmisión que permitió el flujo hídrico laminar de agua desde dentro del bosque de manglar conservado que esta paralelo a los terraplenes, hacia la poligonal Z I y de ahí a las poligonales Z II y Z III, con muy poco margen para un flujo continuo hacia el manglar conservado.

La aplicación que se le puede dar a este estudio es con relación a la restauración que se requiere realizar para áreas perturbadas. Ahora se sabe, con más detalle que el microrelieve que se encuentra en el área conservada es estadísticamente similar al área perturbada, por lo que ya no aplica el establecer una diferencia, por esta variable, entre el área conservada y la perturbada. A su vez, el hidroperíodo, también se comporta estadísticamente de manera similar.

¿Qué significa esto?, este trabajo establece, que, o bien el área perturbada ha ido incrementando su relieve, debido posiblemente a la apertura de canales (para la restauración hidrológica del área perturbada) o en realidad, nunca existió un diferencial entre las áreas, tal como lo reportan Bartolo (2006) y Mendoza (2013).

En cuanto al hidroperíodo se pudieron identificar incrementos de inundación prolongados (período de lluvias y nortes) superiores a los 20 cm, mismos que, pueden ser los responsables de la elevada mortalidad de la primera reforestación que se llevó a cabo en las acreaciones artificiales en 2012 (Cárdenas, 2014). Algo que no pudo ser identificado en el presente estudio, es que, si los incrementos del nivel de inundación están relacionados con la apertura de los canales en 2011.

Con lo contemplado en el presente estudio, se puede recomendar la siembra de individuos, preferentemente de *Avicennia germinans*, en cualquier microrelieve encontrado, pero su mejor distribución y desarrollo se presenta entre -1.0 y 1 cm. Individuos de *Rhizophora mangle*, también puede incorporarse, en microrelieves de los 0.0 y 1.5 cm. Por el número de individuos muestreados la relación de los individuos de *A. germinans* está 2 a 1 con los de *R. mangle*. Para aquellos microrelieves por debajo del nivel de agua arbitrario de la laguna, se recomienda la siembra de *R. mangle*, debido a que fue la especie que más individuos presentó con estos valores negativos. No es muy recomendable la introducción de individuos de *Laguncularia racemosa* debido a su escasa distribución en toda el área de estudio.

Un aspecto importante y que no contemplan los estudios anteriores realizados por otros autores en esta área, es la introducción de individuos con alturas mínimas de 35 cm. Es decir, las futuras reforestaciones en el sitio deben ser con plantas

producidas en vivero y conservadas por lo menos un año o año y medio para que alcancen la talla de siembra. Otra vía de reforestación, sería el trasplante de individuos que en el bosque tuvieran esa talla, la dificultad estriba en obtener los individuos con el suficiente sustrato adherido a sus raíces (que les brinda protección) dado que su sistema radicular ya estaría desarrollado. Otra posibilidad que se plantea es la de realizar la siembra de plántulas o propágulos sobre acreaciones artificiales, pero estas deben tener una altura mayor de los 30 cm. Por último, se puede optar por llevar a cabo trampas de retención de propágulos que permitan su retención y arraigo y en consecuencia, su desarrollo.

X. BIBLIOGRAFÍA

Agraz-Hernández, C. M. 1999. Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de México. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 133 p.

Agraz Hernández, C. M., Osti Sáenz, J., Chan Keb, C. A., Chan Canul, E., Gómez Ramírez, D., Requena Pavón, G. y J. E. Reyes Castellanos. 2012. Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Informe Final SNIBCONABIO. Proyecto FN010. México, D.F. 123 p.

Agraz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. y Jiménez-Zacarías, J. J., 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.

Agraz-Hernández, C., Osti-Sáenz, J., García-Zaragoza, C., Chan-Keb, C., ChanCanul, E., Arana-Lezama, R. y Torenato-Hidalgo, M. 2010. Estrategias de Restauración de Ecosistemas de Manglar en México. JAINA, Vol. 21 No. 2: 05-27.

Bartolo, O. 2006. Mortalidad de manglar asociado a la Laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

Basáñez, A. J. 2005. Ficha informativa de los humedales de Ramsar. Manglares y Humedales de Tuxpan, Sitio Ramsar Internacional 1602.

Benítez, D., Flores-Verdugo, F. y Covantes, C. 2013. Estrategias de forestación con mangles en isletas de dragados en una región semiárida de México. Universidad Autónoma de Sinaloa, UNAM y Consejo Estatal de Ciencias y Tecnología. México. 132 p.

Blom, C. y Voesenek, L. 1996. Inundaciones: las estrategias de supervivencia de las plantas. *Tendencias en Ecología y Evolución* 11: 290-295.

Benítez-Pardo, D. 2007. Forestación artificial con manglares en isletas de dragados en una región semiárida de México. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 104 p.

Cárdenas, S. I. 2014. Ensayos de Reforestación en un área degradada de manglar en el Sitio Ramsar No. 1602. Tesis de Maestría. Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros. Universidad Veracruzana. México. 111 p.

Ciau-Cardozo, E. A. 2010. Rehabilitación de Manglares en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún. En "Manual Práctico para la Rehabilitación del Ecosistema de Manglares en Yucatán, México". Proyecto de Conservación de Humedales en la Península de Yucatán, CONANP-JICA (ed.) Editorial, Yucatán, México.

Cintrón, G. y Schaeffer-Novelli, Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. En: Snedaker, S. C. y Snedaker, J.G. The mangrove ecosystem: research methods. UNESCO, Bungay, United Kingdom. 251 p.

Cottam, G. y Curtis, J. T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology 37 (3): 451-460. En "Agraz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. y Jiménez-Zacarías, J. J., 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.

Cruz-Lucas, M. A. 2010. Topografía y factores ambientales relacionados a las comunidades vegetales en un humedal. Tesis de Maestría. Facultad ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

Cruz T. L. 2008. Estructura, geomorfología y análisis de crecimiento del manglar de cuenca de la laguna La Cerca, Tlacotalpan, Ver., con miras a la restauración del sitio. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 113 p.

Delgado, P., Hensel, P. F., Jimenes, J. A. y Day, J. W. 2001. The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in Costa Rica estuary. *Aquatic Botany* 71 (3): 157-178.

Domínguez, R., León, J. L. y Riosmena, R. 2011. Análisis de la influencia de las condiciones microtopográficas del sustrato en la estructura del manglar en el Golfo de California. En: Félix, E., Serviere E, Riosmena R. y León J. L. 2011. *Los Manglares de la Península de Baja California*. Primera Edición. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. y Universidad Autónoma de Baja California Sur. 200 p.

D'Avanzo C. 1989. Long term evaluation of wetland creation projects. En: *Wetland creation and restoration: The Status of the Science* Vol. II. Kusler, J. A. y Kentula, M. E. (ed.). U.S. Environmental Protection Agency, Chicalo, IL. 75-84 p.

Del Corral, I. 2001. *Topografía de Obras*. POLITEXT. Universitat Politècnica de Catalunya, SL. España. 354 p.

Elster, C. 1998. Posibilidades de regeneración del manglar en la zona de la ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn. 68 p.

Elster C., Perdomo L. y Schnetter M. L. 1999. Impact of ecological factors on the regeneration of mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Hydrobiologia* 413: 35-46.

Erftemeijer P. y Lewis III. R. 1999. Planting mangroves on intertidal mudflats: habitat restoration or habitat conversion?. En ECOTONE-VIII Seminar "Enhancing Coastal Ecosystems Restoration for the 21st Century", Ranong, Thailand, 23-28 May 1999. Royal Forest Department of Thailand, Bangkok, Thailand. Pages 156-165.

Flores-Verdugo F.J. 1989. Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. En: J. de la Rosa-Vélez y F. González-Farías (eds.). *Temas de oceanografía biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California, México. 21-56 p.

Flores-Verdugo, F. J., Agraz-Hernández, C. M. y Martínez-Cordero, F. J. 1995. Programa de reforestación de manglares por el desarrollo acuícola de AquaNova Boca Cegada (Nayarit): Evaluación ecológica integral y medidas de mitigación.

Anteproyecto. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental, CIAD y Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 86 pp.

Flores-Verdugo F. J., Agraz-Hernández C.M. y Daniel Benítez-Pardo D. 2006. Creación y restauración de ecosistemas de manglar: principios básicos. En: Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. 2006. Moreno-Casasola, P., E, Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello (Editores). Volumen III. Sección VII. Instituto de Ecología A.C., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. SEMARNAT. México. 1266 p.

Flores-Verdugo, F., Moreno-Casasola, P., Agraz-Hernández., C. M., López-Rosas, H., Benítez-Pardo, D., Travieso-Bello, A. C. 2007. La Topografía y el Hidroperíodo: Dos Factores que Condicionan la Restauración de los Humedales Costeros. Bol. Soc. Bot. Mex. 80: 33-47.

García-Zaragoza, C., Agraz-Hernández, C. M., Osti-Sáenz J. G., Ledezma, S., C., y Carlos C. 2010. Rehabilitación hidrológica y reforestación con plántulas de *Avicennia germinans* aplicando productos biorracionales. En: Memorias Primer Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar, Mérida, Yucatán. 25 al 29 de Octubre. 62 p.

González, E., Cinco, S., González, L., López J., Tzel, R., Espinosa M., Bolívar N. y Valencia, M. 2010. Estructuras forestales de la Reserva de la Biosfera Los Petenes: márgenes del Río Chupeten: En Memorias Primer Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar, Mérida, Yucatán. 25 al 29 de Octubre. 150 p.

Hernández, K. N. 2010. Regeneración natural del manglar en un pastizal inducido en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. México. 44 p.

Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, M. A., Rivera-Monroy, V., Coronado-Molina, C., Hernández-Saavedra, R. y Caamal-Sosa J. P. 2010. Marco Conceptual de la Rehabilitación de Manglar en la Península de Yucatán (Se, México). En: CONANP-JICA. 2009. Manual Práctico para la Rehabilitación del Ecosistema de Manglares en Yucatán, México. Proyecto de Conservación de Humedales en la Península de Yucatán. 101 p.

Ibarra, K. P., Villamil, C. A., Vilorio, E. A., Vega, D., Bautista, P. A., Cadavid, B. C., Parra, J. P., Espinosa, L. F., Gómez, M. C., Agudelo, C. M., Perdomo, L. V., Mármol, D. y Rueda, M. 2013. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. INVEMAR. Informe Técnico Final 2012. Santa Marta 130 p.+ anexos.

Kjerfve, B. 1990. Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems. UNESCO/UNDP Regional Project, Research and Its Application to the Management of the Mangroves of Asia and the Pacific (RAS/86/120). Paris UNESCO. 77 p.

Lee, D. R. y Cherry, J. A. 1979. A field exercise on groundwater flow, using seepage meters and minipiezometers. *Journal of Geological Education* 7(1): 6-10.

Lema L. F., Polanía, J. y Urrego, L. E. 2003. Dispersión y establecimiento de las especies de mangle del Río Ranchería en el período de máxima fructificación. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(102): 93-103.

Lewis, R. R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecol. Eng.* 24(4): 403-418.

Lewis, R. R. 1982. Mangrove Forest. En: *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities*. CRC Press, Florida. 153-171 p.

López Portillo, J. A., Lara Domínguez, A. L., Sáinz Hernández, E., Vásquez, V. M., Rodríguez Rivera, M., Martínez García, M. C., Bartolo Mateos, O., Ortiz Vela I. I. y Alvarado, G. 2014. Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco en el estado de Veracruz para la rehabilitación del manglar y de sus servicios

ambientales. Instituto de Ecología A.C. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto No.HH025. México, D.F.

López-Portillo, J. y Ezcurra, E. 1989. Zonation in mangrove and salt marsh vegetation at Laguna de Mecoacan, Mexico. *Biotropica* 21(29): 107-114.

López-Portillo, J. y Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*. Edición especial 2002: 27-51.

Lugo A. E. y Cintron G. 1975. The mangrove forest of Puerto Rico and their management. En: Walsh G.E., Snedaker S.C. y Teas H.J. Eds. *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management Mangroves, Food and Agricultural Sciences*, University of Florida, Gainesville. 825-846 p.

Martínez M. L., Moreno-Casasola P. y Vázquez G. 1997. Long term effect of sand movement and inundation by water on tropical coastal sand dune vegetation. *Canadian Journal of Botany* 75:2005-2014.

McKee, K. L., Mendelssohn, I. A. y Hester, M.W. 1988. A reexamination of pore water sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. *American Journal of Botany* 75: 1352-1359.

Méndez L. 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 (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 81 p.

Mendoza, E. 2013. Microtopografía en un área de manglar conservado y degradado del sitio RAMSAR No. 1602". Tesis de Licenciatura. Facultad Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. México.

Mitsch, W. J. y Gosselink, J. G. 2000. Wetlands, 3er edn. John Wiley and Sons, New York. 920 p.

Molina, E. C. 2009. Dinámica de los manglares de bahía Portete, alta Guajira a escala de paisaje y su relación con variables climáticas asociadas al cambio climático global y regional. Tesis de Maestría. Maestría en Bosques y Conservación Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 67 p.

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 de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de Mexico. 83 p.

Monroy-Torres, M., Flores-Verdugo, F. J. y De la Lanza, G. 2010. Distribución de los manglares en el Estero de Urías (Mazatlán, Sinaloa) y su relación con la microtopografía, hidroperíodo, salinidad y geomorfología. En Memorias Primer Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar, Mérida, Yucatán. 25 al 29 de Octubre. 90 p.

Moreno-Casasola P. y B. Warner. Eds. 2009. Breviario para describir, observar y manejar humedales. Serie Costa Sustentable no 1. RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, Ver. México. 406 pp.

Naidoo, G. 1985. Effects of waterlogging and salinity on plant-water relations on the accumulation of solutes in three mangrove species. *Aquatic Botany* 22: 133-143.

Patrick, W. H., Gambrell, R. P. y Faulker, S. P. 1996. Redox measurements of soils. En: *Methods of soil Analysis, Part 3 Chemical methods*. Sparks, D.L. (ed.). Soil Science Society of Agronomy Wisconsin. 1255-1273 p.

Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Herrera-Silveira, J., Teutli-Hernández, C., Ramírez, J., Camal-Sosa, J., Andueza, T. y Rivera-Monroy, V. 2010. Caracterización del hidroperíodo en manglares bajo diferentes escenarios ambientales en la península de Yucatán. En Memorias Primer Congreso

Mexicano de Ecosistemas de Manglar, Mérida, Yucatán. 25 al 29 de Octubre. 126 p.

Rabinowitz, D. 1975. Planting experiments in mangrove swamps of Panama. En: Walsh, G.E., Sndedaker, S. C. y Teas, H. T. eds. 1975. Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves Vol.1. Universidad de Florida, Gainesville. p: 385-393.

Ramírez-Ochoa, L. F. 2005. Factores que afectan la propagación y establecimiento de *Avicennia germinans* L. en ambientes degradados de regiones semiáridas subtropicales. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias Marinas. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 108 p.

Ramírez, A. F., Trujillo, O., Zentmeyer, E.H., Martínez, B., Sheseña, I. M. y Juan, A. 2010. Identificación y tipificación de áreas potenciales para la restauración de manglares: el caso de los Humedales de la Cuenca del Río Papaloapan, Veracruz, México. PRONATURA Veracruz, A.C., Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (SEDEMA), Ecologic Development Fund y Pronatura Veracruz, A.C. México. 54 p.

Reyes, A., López, G. y Hernández H. 2002. Evaluación preliminar de los efectos de la inundación y la herbivoría sobre plántulas de mangle. Universidad y Ciencia 36 (18): 135-139.

Reyes, M. A., y Tovilla, C. 2002. Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la Costa de Chiapas. Madera y Bosques, Vol 8. Núm. Es1, 2002, pp.103-114 Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México.

Rico-Gray, V. y Palacios, M. 1996. Salinidad y el nivel de agua como factores en la distribución de la vegetación en la ciénaga del NW de Campeche, México. Acta Botánica Mexicana 34: 53-61.

Roig, E. 2005. Resiliencia de manglares en los Paisajes Naturales Protegidos Rincón de Guanabo y Laguna del Cobre-Itabo, Ciudad de La Habana, Cuba. Trabajo de Diploma. Facultad de Biología, Universidad de La Habana. 48 p.

Sánchez, H. 2009. Experiencias de Zonificación y Restauración de los Manglares en la Costa Caribe de Colombia. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. 18-23 p.

Sánchez-Arias, L. E., Paolini, J. y Rodríguez, J. P. 2010. Dinámica de las propiedades del suelo en los bosques de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) en la Isla Margarita, Venezuela. Rev. Biol. Trop. Vol. 58(2): 547-564.

Schnetter M. L. 2002. El sistema radical del mangle blanco (*Avicennia germinans*), un ejemplo de adaptaciones morfológicas y anatómicas en espermatofitos a

condiciones ecológicas adversas. Revista Acad. Colom. Ci. Exact., Fis. Nat. 26:
111-126

Thom, B.G. 1967. Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tabasco, Mexico. Journal of Ecology 55(2):301-343.

Thom, B.G. 1982. Mangrove ecology -a geomorphological perspective. En: Clough. B. F. (ed.). Mangrove Ecosystems in Australia. Australian National University Press, Canberra. 3 -17 p.

Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R. y Lara-Domínguez, A. L. 1998. Mangrove ecosystems against global climate change. Wood and Forestry 4(2): 3-19.