

Informe final* del Proyecto FN010
Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Campeche

Responsable: Dra. Claudia Maricusa Agraz Hernández
Institución: Universidad Autónoma de Campeche
Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México
Dirección: Apartado Postal 520, Campeche, Cam., 24030, México
Correo electrónico: ND
Teléfono/Fax: 01981 811 9800 ext. 62305; fax: 01981 811 9800 ext. 62399
Fecha de inicio: Julio 31, 2008.
Fecha de término: Agosto 23, 2012.
Principales resultados: Hojas de cálculo, fotografías, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** 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 SNIB-CONABIO. Proyecto FN010.** México, D.F.

Resumen:

En respuesta a la convocatoria para el seguimiento de manglares convocada por CONABIO, se propone un proyecto de monitoreo de humedales de manglar en tres regiones del Golfo de México y del Caribe localizadas en los estados de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en los que se encuentra alrededor del 50% de la extensión total nacional. El enfoque del proyecto es interinstitucional y se enmarca en una estrategia de escalas temporales y espaciales amplias para llevar a cabo una comparación de los cambios estructurales y funcionales de los manglares en respuesta al grado de conservación o deterioro por impactos antrópicos y naturales. Esta estrategia permitirá definir y establecer variables críticas para el diagnóstico y la evaluación de los manglares en varias regiones del país con miras a contar finalmente con modelos predictivos para una mejor comprensión acerca del funcionamiento de estos ecosistemas. Este proyecto abarca 3 años y representa un primer esfuerzo en la organización de una red de monitoreo nacional de bosques de manglar dentro del marco conceptual de la Red Mexicana de Investigación Ecológica a largo Plazo.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



***“PROGRAMA REGIONAL PARA LA
CARACTERIZACIÓN Y EL MONITOREO
DE ECOSISTEMAS DE MANGLAR DEL
GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE
MEXICANO: INICIO DE UNA RED
MULTINSTITUCIONAL. CAMPECHE”***

(CONVENIO NO.: FB1308/FN010/08)

INFORME FINAL

(ENERO DE 2009 A JULIO DE 2011)

PARTICIPANTES:

Dra. Claudia M. Agraz Hernández (Responsable)
Tec. Juan Osti Sáenz,
Tec. Salvador Guzmán Ledezma,
Biol. Claudia García Zaragoza,
M en C. Carlos Chan Keb,
Biól. Eleuterio Chan Canul,
Biól. Daniela Gómez Ramírez,
I.Q.A. Gloria Requena Pavón,
I.Q.A. Jordan Reyes Castellanos

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES

III. OBJETIVO GENERAL

3.1 OBJETIVOS PARTICULARES

IV. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Localización y descripción de los sitios de caracterización y monitoreo:

(A) Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos

(B) Champotón

(C) Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche

V. ESCENARIO AMBIENTAL

5.1 Clima

5.2 Geomorfología

5.3 Hidrografía

VI. MATERIAL Y METODOS

6.1 Estructura Forestal

6.2 Incremento diametral

6.3 Microtopografía

6.4 Nivel máximo de inundación

6.5 Regeneración potencial

6.6 Parámetros físicos y químicos del agua intersticial

6.7 Producción de hojarasca

6.8 Parámetros físicos y químicos del suelo

A) Determinación de nitrógeno total en suelos (método de Micro-Kjedhal)

B) Determinación de fosforo en suelos (método de Bray-1)

- C) Determinación de la densidad aparente
- D) Determinación de la materia orgánica (método de Craft 1991)
- E) Determinación de la salinidad, pH y potencial redox en el suelo

6.9 Productividad subterránea

6.10 Características edafológicas del sedimento del manglar

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 FASE DE CARACTERIZACIÓN

- A) Estructura forestal y tipos fisonómicos de los bosques de manglar en estudio
- B) Variación interanual en los atributos forestales
- C) Distribución, microtopografía y niveles de inundación

7.2 FASE DE MONITOREO MENSUAL

- A) Parámetros físicos y químicos del agua intersticial
- B) Regeneración potencial
- C) Productividad en términos de hojarasca
- D) Incremento diametral
- E) Producción de raíces finas
- F) Escenarios ambientales (Datos climáticos de enero de 2006 a julio de 2011)
- G) Características edafológicas del sedimento del manglar

VIII. CONCLUSIONES

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos.

Figura 2. Localización de la estación de muestreo en el ecosistema de mangle adyacente al río Champotón.

Figura 3. Estaciones de muestreo de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Figura 4. Clasificación de los sitios de muestreo con base a la estructura forestal, características fisicoquímicas del agua intersticial (salinidad, potencial redox, pH y temperatura) y del sedimento (nitrógeno y fosforo total, materia orgánica, densidad aparente).

Figura 5. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Atasta en la parte noreste en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna Términos, Campeche. **(a)** Determinación *in situ* del diámetro a 1.30 m en un árbol de *Avicennia germinans*, **(b)** Parcelas para la determinación del incremento diametral y **(c)** Árboles de *Laguncularia racemosa*, asociado con plantas de *Acrostichum aureum*.

Figura 6. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Estero Pargo, en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna Términos, Campeche. **(a)** Árboles de *Rhizophora mangle* (bosque del borde tipo borde) y **(b)** Árboles de *Avicennia germinans* (bosque interno, tipo borde con tendencia ribereño) en parcelas para determinar el incremento diametral (monitoreo a largo plazo).

Figura 7. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Xibuja en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna Términos, Campeche. **(a)** Bosque mixto de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* tipo borde ubicado en la orilla de la laguna. **(b)** Bosque mixto *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle* tipo borde con tendencia ribereño (bosque interno).

Figura 8. Características ambientales del perfil de vegetación en el sitio de Champotón al noreste del estado de Campeche. **(a)** Bosque mixto de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, tipo borde. **(b)** Bosque mixto de *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, tipo cuenca. Biólogo Roberto Arana Lezama.

Figura 9. Características ambientales del perfil de vegetación en el sitio de río Verde en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche. **(a)** Bosque mixto de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* tipo borde ubicado en la línea de costa. **(b)** Bosque monoespecífico de *Avicennia germinans* tipo matorral con tendencia cuenca.

Figura 10. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Peten Neyac en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Figura 11. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche.

Figura 12. Variación mensual del potencial redox en el agua intersticial por tipo de manglar en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche.

Figura 13. Variación mensual del pH en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche.

Figura 14. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en la localidad de Champotón, Campeche.

Figura 15. Variación mensual del potencial redox en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en la localidad Champotón.

Figura 16. Variación mensual del pH en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en la localidad de Champotón, Campeche.

Figura 17. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Figura 18. Variación mensual del potencial redox en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Figura 19. Variación mensual del pH en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Figura 20. Producción de hojarasca por localidad, tipo de bosque y especie de manglar ubicados en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFyFLT) y Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche (RBLP).

Figura 21. Cambios en la concentración de la salinidad y valores del potencial redox del agua intersticial entre los años 2009 y 2010, en los bosques de mangle del borde en las siete localidades en estudio. * *Salinidad positiva describe incremento y en el potencial redox con valores negativos refiere pérdida de oxígeno.*

Figura 22. Producción de la hojarasca de *Avicennia germinans* por componente en siete localidades ubicadas en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con marzo de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 23. Producción de la hojarasca de *Avicennia germinans* por componente en las localidades ubicadas en el río Champotón, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 24. Producción de la hojarasca de *Avicennia germinans* por componente en dos localidades ubicadas en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con marzo de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 25. Producción de la hojarasca de *Rhizophora mangle* por componente en las siete localidades ubicadas en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna de Términos, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con marzo de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 26. Producción de la hojarasca de *Rhizophora mangle* por componente en la localidad de Champotón, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 27. Producción de la hojarasca de *Rhizophora mangle* por componente en las dos localidades en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 28. Producción de la hojarasca de *Laguncularia racemosa* por componente en las siete localidades del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 29. Producción de la hojarasca de *Laguncularia racemosa* por componente en la localidad de Champotón, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 30. Producción de la hojarasca de *Laguncularia racemosa* por componente en las dos localidades en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Figura 31. Producción de biomasa de raíces finas a través del tiempo en las siete localidades en estudio del litoral del estado de Campeche.

Figura 32. Producción de raíces finas por localidad y sitio de estudio (At = Atasta, EP= Estero Pargo, Xi = Xibuja, Sa=Sabancuy, I= bosque interno, -B=bosque del borde), *in situ* y durante dos ciclos anuales (2010 y 2011).

Figura 33. Producción de raíces finas por localidad y sitio de estudio (Ch = Champotón, -B= bosque del borde, -I= bosque interno) en diferentes tiempo (T0= evaluación *in situ*, T1= 12 meses y T2= 24 meses).

Figura 34. Producción de raíces finas por localidad y sitio de estudio (RV = Río Verde, PN = Peten Neyac, -I= Bosque interno, - B= bosque del borde) en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Figure 35. Datos promedio de la precipitación anual, temperatura máxima y mínima (°C) de 1952-2005. Datos meteorológicos del Estado de Campeche, México.

Figura 36. Promedio de la precipitación por época del año, en el Estado de Campeche; México. Datos CONAGUA del 2006 al 2011.

Figura 37. Variación anual del potencial redox en el sedimento durante el periodo 2009 -2011 en las siete localidades de estudio.

Figura 38. Variación anual del pH en el sedimento durante el periodo 2009-2011 en las siete localidades de estudio.

Figura 39. Densidad aparente por localidad (At= Atasta, EP= Estero Pargo, Xi= Xibuja y Sa= Sabancuy durante el análisis de 2009 y 2011 respectivamente) en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.

Figura 40. Densidad aparente en la localidad de Champotón durante el 2009 y 2011.

Figura 41. Densidad aparente por localidad (RV= Río Verde y PN= Peten Neyac durante el análisis de 2009 y 2011, respectivamente) en la Reserva de la Biósfera Los Petenes.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura forestal y tipos fisonómicos de los bosques de manglar en estudio utilizando el método parcelas de 100 m².

Tabla 2. Prueba de MANOVA entre la densidad y el área basal de los bosques de manglar en los siete sitios de muestreo entre los años 2009 y 2011.

Tabla 3. Microtopografía en los bosques de manglar en diferentes zonas del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Champotón y Reserva de la Biósfera Los Petenes.

Tabla 4. Altura y densidad de los pneumatoforos en las diferentes localidades de muestreo en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos y la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Tabla 5. Prueba de ANOVA de 3 vías de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial durante el periodo 2009 -2011.

Tabla 6. Tasas de crecimiento de plántulas y juveniles de manglar en las diferentes localidades en estudio en el estado de Campeche durante tres periodos anuales.

Tabla 7. ANOVA de dos vías (factor 1: 7 sitios de muestreo, Factor 2: Año 2009, 2010 y 2011) en la productividad de hojarasca a través de sus diferentes componentes ($\alpha=0.05$).

Tabla 8. Promedio del incremento diametral medido a 10 cm., arriba y abajo de 1.30 m de altura del árbol en el litoral del estado de Campeche a través del 2009, 2010 y en la época de estiaje del 2011.

Table 9. Análisis de ANOVA de dos vías, para evaluar el efecto por año (factor 1, 5 niveles, desde el 2006 al 2010), y por época del año (factor 2, tres niveles, época de lluvia, estiaje, and *nortes*) de la precipitación y temperatura máxima y mínima. Datos meteorológicos del Estado de Campeche (Nivel de significancia $\alpha=0.05$).

Tabla 10. Prueba de MANOVA entre % de materia orgánica, densidad aparente, % de NT y % PT, potencial redox y pH del sedimento en el periodo de monitoreo del año 2009 y 2011 en los siete sitios e muestreo.

Tabla 11. Parámetros químicos del sedimento durante el periodo 2009 -2011 en siete localidades ubicadas a lo largo del litoral del Estado de Campeche.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de manglar son reconocidos como vegetaciones arbóreas que se localizan en la zona de mareas y corresponden al ecotono entre el medio ambiente marino y terrestre de las regiones tropicales y subtropicales (Flores-Verdugo, 1989). Esta vegetación es considerada como halófito facultativa, presenta adaptaciones fisiológicas que le permiten ultrafiltrar, excluir, excretar o acumular las sales, permitiendo así su desarrollo en agua dulce, salobre o marina; como sucede con *Rhizophora mangle* L. que se desarrolla desde ambientes oligohalinos a mesohalinos (0 a 25 ups) e incluso en ocasiones se encuentran a varios kilómetros tierra adentro sobre las márgenes de los ríos. *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. se desarrolla en ambientes que van de oligohalinos hasta mesohalinos (0-25 ups) y *Avicennia germinans* (L.) L. bajo condiciones mesohalinas a hiperhalinas (25 a 70 ups) (De Lanza-Espino y Martínez-Cáceres, 1994).

Los bosques de manglar en México se encuentran representados en las vertientes del Pacífico y del Golfo de México cubriendo un total de 770,057 hectáreas de mangle (CONABIO, 2009). Campeche se considera como el estado con mayor extensión de mangle en el país (194, 190 has. CONABIO, 2009). Los manglares en este litoral se ubican principalmente en el Área de protección de Flora y Fauna laguna de Términos, en el río Champotón y en la Reserva de la Biósfera Los Petenes. De tal manera que, como parte del proyecto general titulado “*Programa Regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Inicio de una red multi-institucional*”, se tuvo como propósito principal para el estado de Campeche, establecer sitios de monitoreo de manglar en las áreas mencionadas, que cumplieran con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y que sirvieran para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas. Así mismo, que estos sitios enriquezcan la base de datos de una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano.

En éste informe se describen los resultados obtenidos en el periodo de diciembre de 2008 a julio de 2011, en donde se incluye desde la compra e instalación del material hasta el inicio y continuidad del monitoreo *in situ* (pH, salinidad y potencial redox del agua intersticial y sedimento, regeneración potencial, incremento diametral, estructura forestal y microtopografía) y *ex situ* (colecta de muestras para su procesado en el laboratorio; tales como hojarasca, sedimento para determinar la densidad aparente, materia orgánica y bolsas de peat moss, para determinar la productividad de raíces finas) durante el año 2009, 2010 y 2011.

II. ANTECEDENTES

El Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos presenta asociaciones vegetales acuáticas y terrestres con alta biodiversidad, identificándose 374 especies de plantas y 1,468 especies de fauna que, en su mayoría, han sido explotadas tradicionalmente desde tiempos prehispánicos por los pobladores ubicados dentro del área. La vegetación circundante está integrada principalmente por cuatro especies de manglar: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* L. (mangle botoncillo). Donde los árboles de los bosques de *Rhizophora mangle* en las zonas de Atasta, Río San Pedro, la desembocadura de Río Grijalva y Sontecomapan alcanzan 30 metros o más. En la parte norte de la laguna, los árboles de *A. germinans* alcanzan hasta 15 m y en las áreas internas del estero de Sabancuy pegados a la línea de la laguna, se pueden encontrar manglares tipo matorral; con alturas no mayores a 1.5 m y con dominancia de *R. mangle* sobre un suelo cárstico expuesto (Agraz Hernández, 2005-2007).

La región de la laguna de Términos, en particular para los ecosistemas de manglar y áreas de vegetación acuática, se han identificado como ecosistemas críticos para ser protegidos y monitoreados no sólo por su valor ecológico; sino por su valor económico, refiriéndose esto a las pesquerías costeras de escama adyacente a la laguna de Términos. Esta laguna a su vez, se localiza contigua a la Sonda de Campeche, considerada como el área camaronera más importante del Golfo de México. Los ecosistemas de manglar y vegetación acuática en

particular para la laguna de Términos son los que garantizan el mantenimiento de la calidad de las aguas que desembocan en esta; además, protege y conserva la línea de costa contra procesos de erosión, fenómenos meteorológicos y contribuyen con el mantenimiento del microclima (Zetina-Tapia, 2003). Por otra parte, la laguna de Términos representa un área de crianza, alimentación y crecimiento de postlarvas y juveniles del camarón blanco y café. Asimismo, esta laguna en conjunto con los Pantanos de Centla conforma una unidad ecológica de vital importancia para la biodiversidad y la economía regional y estatal. No obstante, el 14% de los bosques de manglar de la laguna de Términos han sido impactados por la urbanización, industrialización, agricultura, navegación, alteración del régimen hidrológico de la cuenca del Río Grijalva-Usumacinta, la extracción de hidrocarburos y la actividad pesquera ilegal y legal (Zetina-Tapia y Agraz-Hernández, manuscrito sin publicar). Estas actividades se consideran como los principales factores económicos que han influido e influyen en la distribución y permanencia de los hábitat críticos, limitando la productividad biológica y afectando la vida silvestre.

A la fecha no se tienen estudios con respecto Los manglares de la parte central del estado de Campeche, ubicados en el margen del río Champotón, a pesar de que el área presenta una importante cobertura de mangle. De tal manera que, los resultados aquí presentados servirán para diagnosticar ambientalmente estos ecosistemas y establecer estrategias de conservación.

Por otra parte, en la región norte del estado de Campeche, se localiza la Reserva de la Biósfera Los Petenes; la cual forma parte de una ecoregión que involucra a la Reserva de la Biósfera Ría Celestún y al área natural protegida estatal El Palmar en el estado de Yucatán. Estas áreas contribuyen con alta diversidad en flora y fauna junto con la unicidad de algunos de sus ecosistemas, particularmente los Petenes y los pastos marinos. Donde estos son considerados como la mayor extensión, tamaño y buen estado de conservación en todo el país. La Reserva de la Biósfera los Petenes fue declarada como sitio RAMSAR por presentar los ecosistemas de Petenes (hábitats complejos desarrollados como islas de vegetación variada); debido a que estos ecosistemas se localizan sólo en tres partes del mundo, Península de Yucatán, Cuba y Península de Florida, reconociéndose como un

humedal de importancia internacional. La Reserva de la Biósfera los Petenes queda comprendida dentro de las regiones prioritarias de México en todas las categorías existentes: Regiones Prioritarias Terrestres (RPT Petenes-Ría Celestún, No. 145), Regiones Marinas Prioritarias (RHP No. 102. Anillo de Cenotes) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves –AICAS (Petenes, Clave SE-28).

Los manglares ocupan aproximadamente 50% de la superficie terrestre de la Reserva de la Biósfera Los Petenes; considerándose con ello, la vegetación dominante. Sus principales componentes son el mangle rojo (*R. mangle*), mangle negro (*A. germinans*), mangle blanco (*L. racemosa*) y botoncillo (*C. erectus*).

Por otra parte, la Reserva de la Biósfera Los Petenes registra deterioro ambiental por debajo del 30% (impactando de manera directa a los manglares). Este deterioro es ocasionado principalmente por asentamientos humanos de la zona urbana en la ciudad de Campeche, desde las unidades habitacionales Palma I, II y III, Fidel Velázquez y Solidaridad Nacional.

III. OBJETIVO GENERAL

Establecer, como parte del proyecto general en el estado de Campeche, los sitios de monitoreo de manglar en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Champotón y Reserva de la Biósfera los Petenes, que cumplan con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y que sirvan para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas. Así mismo, que la información que se genere de estos sitios enriquezcan la base de datos de una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano.

3.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Caracterizar los tipos de manglar en el estado de Campeche de acuerdo a sus atributos estructurales y a las variables ambientales que los regulan.
- Identificar las características estructurales de la vegetación y ambientales que sirvan de línea base y soporte para un programa de monitoreo.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Campeche se localiza al sureste de la República Mexicana y forma parte de los estados que comprenden el Golfo de México. Este cuenta con alrededor de 523.3 km de litoral y una superficie estuarina de 196,000 ha (De la Lanza Espino y Cáceres Martínez, 1994). Toledo Ocampo (2005) menciona que la mayor extensión de los humedales costeros de México se localiza en los estados de Tabasco y Campeche y estos a su vez son considerados como la unidad ecológica costera más importante de Mesoamérica; por su productividad natural y biodiversidad. Actualmente Campeche representa el primer lugar de cobertura de manglar a nivel nacional (25%), con una extensión total de 194, 190 ha (CONABIO, 2009).

4.1 Localización y descripción de los sitios de caracterización y monitoreo:

(A) Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos

En el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos se establecieron cuatro perfiles de vegetación: en la zona noroeste, **Sabancúy** (-91.223076 long y 18.954124 lat) y **Xibuja** (18.748470 lat y -91.234120 long); en la zona centro, **Estero Pargo** (18.657883 lat y -91.752272 long); y, en la zona suroeste, **Atasta** (18.588876 lat y -92.076633 long) (**Figura 1**).



Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos.

(B) Champotón

El municipio de Champotón está situado en la zona centro del estado de Campeche comprendido entre los meridianos 17.816666 y 19.68333 de latitud entre 89.53333 y 91.13333 de longitud. El área de mangle en estudio comprendida en el margen del río Champotón se ubica en las coordenadas 19.33870 latitud y -90.689160 longitud (**Figura 2**).

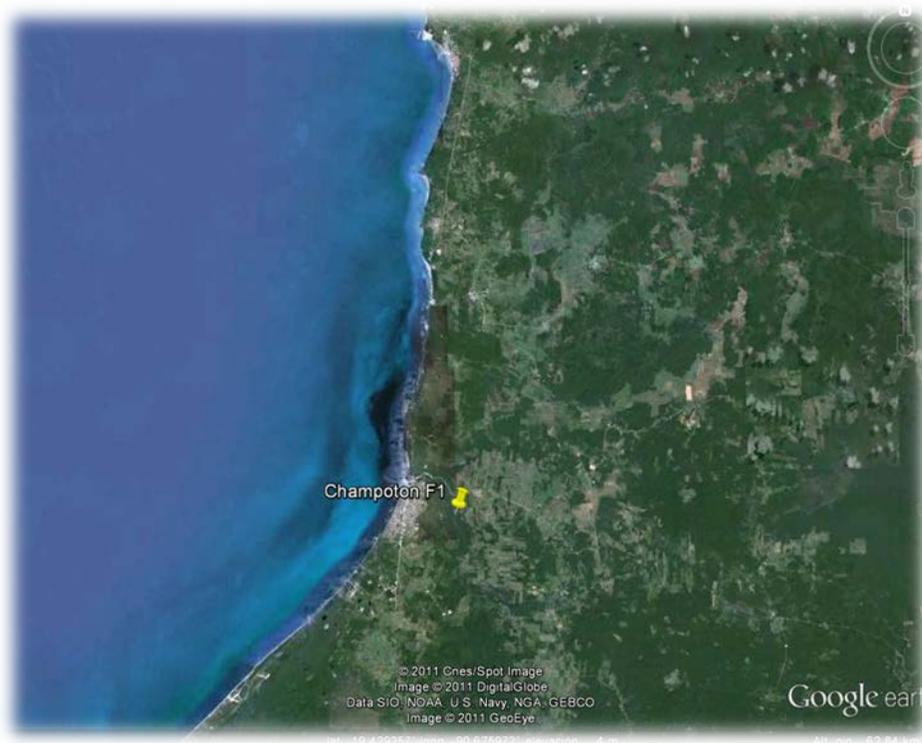


Figura 2. Localización de la estación de muestreo en el ecosistema de mangle adyacente al río Champotón.

(C) Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche

En la Reserva de la Biósfera los Petenes se establecieron dos áreas de manglar para el estudio: “Peten Neyac” (20.3330010 lat y -90.489750 long) por registrar un importante grado de conservación y ecosistemas de petenes compuestos de una mezcla de manglares y selvas inundables; y, los bosques de manglar de “Río Verde” (19.958390 lat y -90.451730 long), los cuales se caracterizan por un tipo borde con tendencia ribereño, borde y matorral. Esta área registra desarrollo turístico y el dren agrícola del valle de Edzná (**Figura 3**).

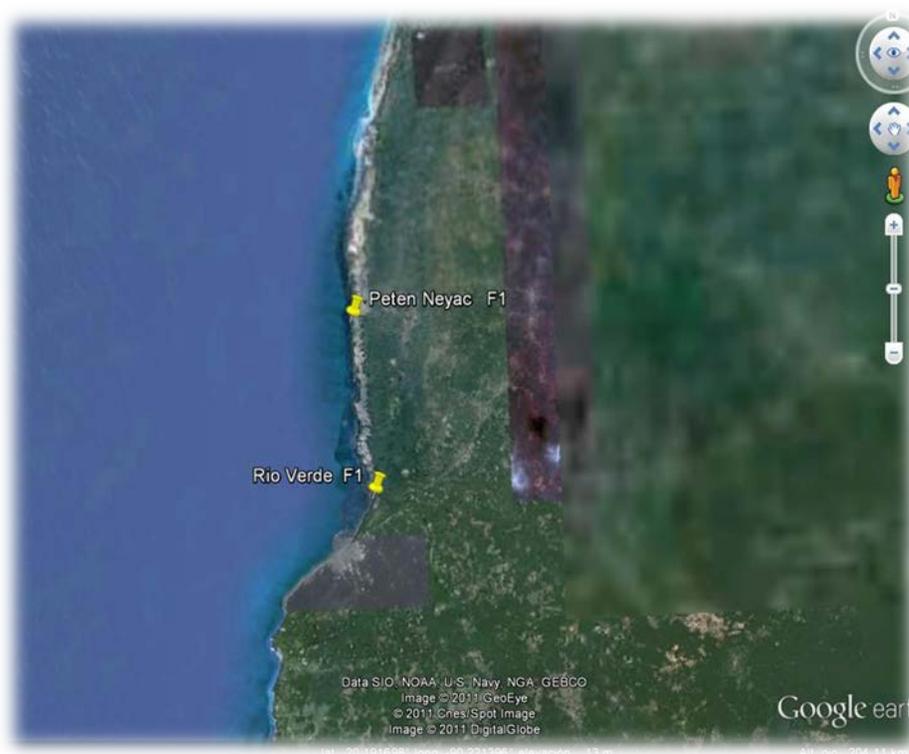


Figura 3. Estaciones de muestreo de la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

V. ESCENARIO AMBIENTAL

5.1 Clima

En general, el clima en el estado de Campeche es cálido subhúmedo, con lluvias en verano y con una precipitación pluvial de 1,300 a 1,500 mm; el período de lluvias comprende de junio a octubre y la época de estiaje de enero a mediados del mes de mayo. La temperatura media anual es de 27°C. En particular el clima del estado de Campeche se tipifica en tres: (Am) *cálido húmedo con abundante lluvia en verano*, (A(W)) *cálido subhúmedo con lluvias en verano* y (BS1(h')) *semiseco cálido*. La precipitación total anual oscila entre 1,000 milímetros en la parte norte del área que fisiográficamente corresponde a la provincia denominada “península de Yucatán”, sobre zonas calizas que favorecen la infiltración; hasta cerca de 2,000 mm en el suroeste en la llanura costera del Golfo Sur. Esto debido a la naturaleza del terreno, razón por la cual se presenta un gran número de corrientes y depósitos de agua como los ríos Palizada y Candelaria o las lagunas de Atasta y Pom.

Específicamente las áreas geográficas de caracterización y monitoreo consideradas para esta investigación, se presenta con base a la clasificación de Köeppen modificado por García (1964); en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos de tipo *Am*: el cálido húmedo con influencia de monzón ocupa parte del municipio de Carmen y todo el de Palizada; Champotón de tipo *Aw I*: el cálido subhúmedo intermedio y, en la Reserva de la Biósfera Los Petenes de tipo *Aw 0*: el más seco de los cálidos subhúmedos.

5.2 Geomorfología

En la llanura costera del Golfo de México, comprendida entre el río Tonalá y la laguna de Términos, hay un amplio complejo sedimentario constituido por deltas de ríos y caracterizado por varios sistemas de lagunas litorales. El sistema lagunar Atasta-Pom, situado en el flanco oriental de ese complejo, forma parte de un grupo de cuerpos de agua

costeros que tienen comunicación con el Golfo de México a través de la laguna de Términos, vía la boca de El Carmen (Gutiérrez-Estrada *et al.* 1981).

5.3 Hidrografía

El origen cárstico de la península de Yucatán crea las condiciones propicias para la formación de acuíferos subterráneos; por lo que el sistema de escurrimiento hídrico superficial no alcanzan el desarrollo típico de provincias terrígenas, el agua en superficie está limitada a superficies de inundación temporal y permanente alimentadas por flujos hídricos locales y regionales (Lugo, 1999).

El estado de Campeche cuenta con 4 regiones; 7 cuencas hidrológicas y 2,200 km² de lagunas costeras con una extensión de 200 km² y compuesto por cinco ríos principales. Hacia la parte norte y noroeste del estado presenta cauces subterráneos (con un nivel del manto freático entre 6 m a 90 m) y pequeños cuerpos de agua en las zonas de Edzna y Hampolol. Hacia el sur y suroeste de Campeche se presenta un exceso de agua debido al gran número de ríos que atraviesan la zona. Las corrientes de esta área pertenecen a distintas cuencas, la mayor es la del sistema Grijalva-Usumacinta, seguido por las cuencas del río Candelaria, la del río Chumpán y la del río Mamantel. Los ríos de Palizada, San Pedro, Chumpan, Candelaria y Mamantel conectan al Golfo de México y/o a la Laguna de Términos. En específico el río Palizada, es el brazo oriental del Usumacinta, así como el río San Pedro es un brazo que deriva del Usumacinta, pasando por el poblado de Jonuta en Tabasco. El río Chumpán queda aislado en la llanura, se forma por la unión de varios arroyos siendo los principales el Salsipuedes, San Joaquín y Piedad, corre en dirección sur-norte y desemboca en la Laguna de Términos por la boca de Balchacah. El río Candelaria se forma en la región del Petén, dentro de territorio guatemalteco, con una trayectoria general de sur a norte. El río Mamantel desemboca en la Laguna de Panlau y presenta durante su recorrido un drenaje deficiente sobre la superficie del terreno.

La formación de estas lagunas ha ocurrido durante los últimos 5 mil años, sobre todo por la acumulación de sedimentación acarreadas por los ríos, lo que ha provocado la formación de

barreras arenosas alrededor de las depresiones del terreno. Hacia el noroeste de este sistema tenemos el estero de Sabancuy formado por barreras de arena y manglar.

La última cuenca importante es la del río Champotón que se encuentra al norte de la Laguna de Términos, prácticamente en el centro del estado. Al igual que el Mamantel fluye sobre suelo calizo, con un curso corto y sin afluentes, desembocando en el Golfo de México. El resto de las corrientes situadas en el centro y sureste del estado son temporales, pues sólo llevan agua en los periodos de lluvias.

VI. MATERIAL Y METODOS

A continuación se describen los materiales y métodos utilizados para la caracterización de las condiciones ambientales y tipos de bosques de manglar en el estado de Campeche; así como los métodos empleados para el monitoreo continuo (mensual, semestral y anual) durante los tres años de estudio (2009, 2010 y 2011):

6.1 Estructura Forestal

Se determinó la estructura forestal a lo largo de un perfil de mangle, en cada localidad en estudio. El método utilizado para esta determinación fue el de parcelas de 100 m², efectuándose 2 parcelas por sitio, con un total de 4 por localidad con excepción de Atasta. Puesto que esta localidad presento solo un tipo fisonómicos, estableciéndose solo 2 parcelas en un sitio. En cada parcela se contabilizó el número total de árboles y arbustos (densidad), determinándose los diámetros a 1.30 m de altura en los árboles de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* y a 30 cm por arriba de la ultima raíz en el caso de *Rhizophora mangle* y se estimaron sus alturas. La densidad y el área basal se calcularon como la suma total de individuos o del área basal de cada individuo referida a la unidad de área de cada cuadrante.

6.2 Incremento diametral

En cada parcela de 100 m² se colocaron etiquetas de aluminio codificadas en todos los árboles, en el mes de agosto del 2009; para determinar el promedio del incremento diametral por sitio y tipo fisonómico. Las determinaciones del diámetro por árbol se tomo trimestral; como referencia fija se marco con pintura indeleble una línea a 10 cm por arriba y por abajo de 1.30 m de altura; para los árboles de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. En el caso de *Rhizophora mangle* la referencia fue a 30 cm por arriba de la unión de las últimas raíces adventicias.

La cantidad de árboles etiquetados para cada localidad fue de 121 árboles en Peten Neyac; 173 en el río Champotón; 142 en río Verde; 105 en Sabancuy; 110 en Xibuja; 78 en Estero Pargo y 26 en Atasta. La diferencia de árboles etiquetados dependió de la densidad de árboles por parcela. Así mismo, es importante mencionar que en la localidad de Atasta solo

se registró un tipo fisonómico a través del perfil de vegetación; por lo tanto la cantidad de árboles etiquetados fue menor.

6.3 Microtopografía

Los niveles microtopográficos por sitio, se determinaron con base a una manguera de nivel convencional, flexómetros, plumones indelebles y estadales de madera de 1.50 m de altura (Agraz Hernández, 1999).

La medición se realizó a través de transectos perpendiculares al mar, laguna y río (según el caso) iniciando desde la orilla de éstos y clavando un estadal de madera. Se marcó en el estadal el nivel del agua. Posteriormente se midió con el flexómetro la distancia del suelo a la marca (nivel de agua). Se aumentó y marcó aproximadamente 1 m (dependiendo de la pendiente del suelo) en la parte superior del estadal y se clavó otro estadal al inicio del bosque midiendo la distancia entre un estadal y otro. Con la manguera de nivel convencional previamente con agua (sin burbujas de aire para que no interfirieran en la lectura), se corrió el nivel del primer punto al segundo (subiendo o bajando la manguera en el segundo estadal de tal manera que el menisco de agua coincidiera con la segunda marca en el primer estadal). Una vez obtenido el nivel en el segundo estadal se midió nuevamente la distancia del suelo a la nueva marca (nivel). Entre estadal y estadal se identificaron las especies y los cambios en la estructura del bosque. Se continuó con el mismo procedimiento hasta terminar con el perfil de vegetación en cada una de las estaciones de muestreo.

6.4 Nivel máximo de inundación

Como un indicador del nivel máximo de inundación; así como un método indirecto para determinar la oxigenación de cada sitio en estudio, se procedió a medir los pneumatóforos en cada transecto mediante un muestreador de 0.25 m² construido con tubos y codos de PVC de 3/4". El muestreador se colocó de manera aleatoria en un punto de cada transecto (2 por localidad), se contabilizó el número total de pneumatóforos introducidos dentro del muestreador y se midió la altura del 10 % de estos. Este parámetro se efectuó solo al inicio del proyecto.

6.5 Regeneración potencial

Se establecieron cuatro parcelas de 10 x 10 metros (2 por sitio) por localidad (2 en la estación de Atasta) divididas en cuatro cuadrantes de 5 x 5 m. Dentro de cada una de éstas parcelas se estableció una subparcela de 1 x 1 m y otra de 5 x 5 m para la caracterización de plántulas y juveniles, respectivamente. Se etiquetaron 40 plántulas y 40 juveniles (10 por cada subparcela) en las localidades de Champotón, Estero Pargo y Xibuja; 40 plántulas y 30 juveniles en las estaciones de Sabancuy, río Verde y Peten Neyac y 10 plántulas y 20 juveniles para el área de Atasta (250 plántulas y 230 juveniles en total). Estableciéndose como plántulas aquellas con alturas menores a 0.5 m.; y, juveniles con alturas igual o mayor a 0.5 m y diámetros menor a 2.5 cm. Para el monitoreo se etiqueto cada uno de los individuos y se midió mensualmente las alturas.

6.6 Parámetros físicos y químicos del agua intersticial

Se instalaron 4 piezómetros de cloruro de polivinilo (PVC) de 4" de diámetro y 1.5 m de altura, distribuidos dos por tipo de bosque a través del perfil de vegetación (perpendicular a la orilla de cada cuerpo de agua correspondiente) en cada una de los sitios en estudio. Cada tubo fue enterrado a una profundidad de 50 cm del suelo, con orificios de 0.5 cm de diámetro y a 30 cm de profundidad, para monitorear el agua intersticial donde se desarrolla la máxima biomasa de raíz. La temperatura, salinidad, potencial redox y pH del agua intersticial se determino *in situ* y mensual. El potencial redox se determinó mediante un YSI 100 multiparamétrico, mientras que la salinidad se midió con un refractómetro de salinidad marca A&O, con un intervalos de precisión de 0 a 100 ups (unidad equivalente a partes por mil). Previo a cada muestreo se dreño el agua acumulada en lo piezómetros.

6.7 Producción de hojarasca

Para determinar la productividad a través de la hojarasca por tipo de bosque de mangle, se instalaron 5 canastas de 0.25 m², (0.5 x 0.5 m), construidas con tela de mosquitero y de tubos y codos de PVC de 3/4". La distribución de las canastas se efectuó con un patrón espacial aleatorio en cada parcela por sitio en estudio, obteniendo 20 canastas por localidad (a excepción de Atasta en donde solo se instalaron 10 canastas); lo que sumaron un total de

130 canastas por las 7 localidades de muestreo. Estas se suspendieron con cordeles de nylon por debajo del follaje de los árboles (aproximadamente a 1.30 m de altura). El material acumulado en las trampas se colecto mensualmente. En el laboratorio, este material se deposito en bolsas de papel y se colocó en la estufa a 75°C por 72 horas; para posteriormente pesar por separado hojas, estípulas, ramas, frutos y flores. El peso de la hojarasca total y en sus diferentes componentes.

6.8 Parámetros físicos y químicos del suelo

Los perfiles de sedimento fueron recolectados mediante núcleos contruidos con un tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y una longitud total de 70 cm. Cada muestra fue tomada por parcela (dos por tipo fisonómico). Donde la longitud del núcleo dependió de la dificultad extracción. El total de núcleos por localidad fue de 4, con excepción de la estación de Atasta en donde solo se extrajeron 2 (con un total de 26 núcleos en las 7 localidades). Una vez extraídos los núcleos se efectuó el análisis *in situ* del pH, potencial redox y salinidad del suelo. Posteriormente, estos núcleos se transportaron al laboratorio de Humedales Costeros del Instituto de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México para el análisis del porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total, fosforo y densidad aparente. Las determinaciones efectuadas en campo y laboratorio (*in situ* y *ex situ*) se realizaron a profundidades de 0, 10 y 45 cm. El análisis de las variables antes descritas se hizo al inicio del proyecto (enero y febrero de 2009) y al finalizar el mismo (julio de 2011).

A continuación se describen los métodos para cada determinación:

Determinación de nitrógeno total en suelos (método de Micro-Kjedhal)

Este método consiste en la conversión de nitrógeno- proteína a sulfato acido de amonio mediante la digestión de la materia orgánica con acido sulfúrico y calor (360 °C) en presencia de un catalizador. Una vez que la materia orgánica se ha desintegrado completamente, la solución se neutraliza con hidróxido de sodio, liberándose amoniaco el cual es destilado por arrastre de vapor y recibido en una solución de acido bórico para formar un complejo boro-amoniaco. La cuantificación del nitrógeno se logra cuando una

solución de ácido previamente valorado (ácido sulfúrico al 0.01 N) se añade a la solución. El resultado se reporta en porcentaje del Nitrógeno total (N%).

Determinación de fósforo en suelos (método de Bray-1)

El método ha sido empleado como un índice de fósforo en los suelos, el fósforo es extraído mediante una solución extractora ácida con la finalidad de remover las formas de fósforo en gran parte, los fosfatos de calcio y una porción de los fosfatos de aluminio y de hierro. Los cuales forman un complejo que se genera cuando se agrega un exceso de iones molibdato; posteriormente es leído a 640 nm en un espectrofotómetro.

Determinación de la densidad aparente

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades, la densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad aparente del suelo es la relación entre el peso del suelo seco y el volumen ocupado por ese peso del suelo. El peso corresponde a la fase sólida (fracción mineral más la fracción orgánica) debido a que el agua se elimina en el secado en la estufa a 105°C hasta obtener un peso seco constante. La densidad aparente se expresa en g cm^{-3} .

Determinación de la materia orgánica (método de Craft 1991)

La muestra de sedimento (2 gr), previamente secada en la estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, se combustiona en una mufla a 550°C durante dos horas. La diferencia de peso entre la muestra seca y la combustionada es proporcional a su contenido en materia orgánica.

Determinación de la salinidad, pH y potencial redox en el suelo

Con base a la recomendación de Sonneveld y Van Den Ende (1971) se realizó la determinación de la concentración de la salinidad, bajo la relación 1:2 en los diferentes

horizontes por cada núcleo. La mezcla de suelo y agua se efectuó con agitación mecánica y una vez obtenido el extracto, se filtró y realizó la lectura mediante un refractómetro de salinidad marca A&O, con un ámbito de valores de 0 a 100 ups (unidad equivalente a partes por mil). La evaluación del pH y potencial redox se efectuó mediante un equipo multiparamétrico marca IQ150.

Productividad subterránea

Con la finalidad de establecer la productividad primaria en términos de biomasa de raíz, se extrajeron dos núcleos de suelo por parcela (4 por sitio, con un total de 8 por localidad) de 30 cm de profundidad por 10 cm de diámetro. El núcleo de sedimento extraído fue remplazado por una bolsa de tela de mosquitero, rellenas de peat moss comercial (Giraldo, 1995). Del total de núcleos extraídos por localidad, 4 fueron utilizados para las determinaciones de densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno y fosforo total, salinidad, pH y potencial redox (descritas anteriormente); y, con los 4 núcleos restantes (una por parcela), se estimó la producción de raíces finas como muestra inicial (T0= año 2009). Posteriormente, las bolsas de peat moss instaladas inicialmente, se extrajeron una por parcela a los 12 (T1= año 2010) y 24 meses (T2= año 2011), respectivamente. Las muestras extraídas en los diferentes tiempos (T0, T1 y T2) fueron analizadas separando las raíces por categoría de diámetros: 0-0.2 cm, 0.21-0.5 cm y 0.51-2.5 cm. Posteriormente las muestras fueron secadas a 75 °C por 72 horas. Los resultados son expresados en gramos por peso seco por metro cuadrado (gr m^{-2}).

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

Con la finalidad de cubrir los objetivos planteados para este proyecto, se realizo durante el mes de diciembre de 2008 las compras, la adecuación y calibración de los materiales y equipo. Simultáneamente se efectuaron los protocolos sobre las direcciones y trayectorias a seguir en cada una de las áreas en estudio. En el mes de enero de 2009 se ejecutó el muestreo prospectivo para establecer las áreas idóneas de monitoreo, con base al historial de las actividades antropogénicas, eventos naturales suscitados; y, que afectaron de alguna manera el sistema costero y/o lagunar. En este mismo mes, se instaló el material para monitoreo de las localidades de Champotón, Río Verde y Peten Neyac. En el mes de febrero de 2009, se continuó con la instalación y caracterización de las localidades de Atasta, Estero Pargo, Xibuja y Sabancuy; al no concluirse con la instalación durante el mes de enero; por los constantes frentes fríos (con duración aproximada de 4 días). Debido a que estos eventos se caracterizan por presentar vientos fuertes del norte, impidiendo la navegación hacia las áreas en estudio.

Se inició con la colecta de datos *in situ* y muestras a través de los perfiles de vegetación; a partir de febrero de 2009 en Champotón, Río Verde y Peten Neyac. En el mes de marzo de este mismo año, en Atasta, Estero Pargo, Xibuja y Sabancuy.

A continuación se describe de manera detallada los resultados obtenidos durante la fase de caracterización y monitoreo (febrero de 2009-julio de 2011):

7.1 FASE DE CARACTERIZACIÓN

A) Estructura forestal y tipos fisonómicos de los bosques de manglar en estudio

El análisis de la estructura forestal estableció diferentes tipos fisonómicos de manglar; con respecto a los atributos forestales y dominancia de las especies, debido a la heterogeneidad de las condiciones ambientales en el estado de Campeche. Al respecto, autores como Tomlinson (1986), Twilley *et al.*, (1996), López-Portillo y Ezcurra (2002), Flores-Verdugo *et al.*, (1992) y Agraz-Hernández *et al.*, (2006) mencionan que la variedad en estructura forestal de los bosques de manglar en general, se atribuye a una serie de factores ambientales; tales como nutrientes aportados por los ríos o escurrimientos terrígenos, tipo de suelo, precipitación e intensidad de evaporación, nivel topográfico, frecuencia y periodo de inundación por la marea, composición del sedimento, tensores naturales (sequías prolongadas y huracanes), variación en la concentración de la salinidad del agua intersticial, plagas y herbivoría.

Al comparar las características estructurales entre las localidades en estudio, se observa un incremento en sus atributos forestales de norte a sur (de la Reserva de la Biósfera los Petenes hacia el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos). Esto debido a que la zona suroeste recibe escurrimientos constantes ricos en nutrientes de los ríos San Pedro, San Pablo y río Palizada (Villalobos Zapata *et al.*, 1999), estableciéndose árboles con alturas de hasta 15 m. Así mismo, es relevante mencionar que a través del perfil de vegetación, se observó un incremento en la densidad y una disminución en el área basal y altura hacia el interior del bosque (de mar a tierra), por el incremento en la microtopografía, disminución en el hidropereodo y al cambio en los parámetros químicos. López-Portillo y Ezcurra, (1989a y 2002), Moreno-Casasola *et al.*, (2002) y Agraz-Hernández *et al.*, (2011), encontraron en La Mancha, Veracruz, que los principales factores que determinan la estructura y diversidad de los manglares son atribuidos a las condiciones hidrológicas y a la concentración en la salinidad intersticial.

Ante lo expuesto, se establecen tres subregiones por similitud con respecto a los atributos forestales en el estado de Campeche (**Figura 4**); el primer grupo se compone por dos áreas bosques de mangle que reciben directamente los efluentes del río Palizada y Candelaria

(estableciéndose condiciones óxicas), “Atasta y Xibuja”; el segundo se agrupo por “Estero Pargo, río Champotón y Sabancuy”, registrándose condiciones óxicas a hipóxicas y el tercer grupo definido con los sitios Río Verde y Peten Neyac, detectándose condiciones hipóxicas a óxicas.

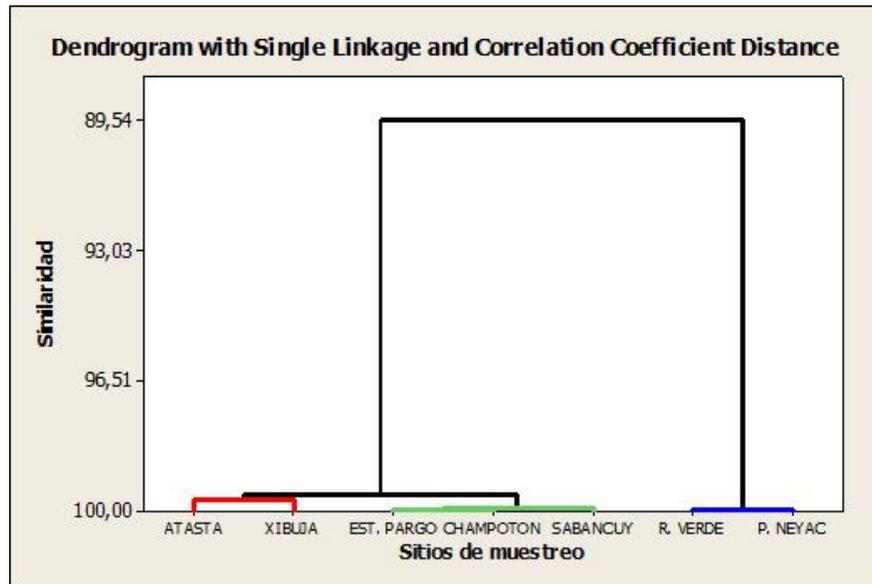


Figura 4. Clasificación de los sitios de muestreo con base a la estructura forestal, características fisicoquímicas del agua intersticial (salinidad, potencial redox, pH y temperatura) y del sedimento (nitrógeno y fosforo total, materia orgánica, densidad aparente).

Por otra parte, al contrastar los valores de los atributos forestales del manglar entre los sitios en estudio (Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, río Champotón y Reserva de la Biósfera Los Petenes,) con respecto a otros ecosistemas de manglar a nivel internacional; sus atributos forestales fueron superiores a los descritos por Félix Pico *et al.*, (2006) para la Bahía de la Paz, Baja California en un bosque mixto que bordea el estero el Conchalito (con densidad de 2,960 arb./ha, altura 3.1 m y salinidad promedio de 39 ‰) y lo mencionado por Satyamarayana *et al.*, (2002) en el sistema estuarino Godavari de la costa oeste de la India (densidades de 47 arb/0.1 ha a 1,731 arb/0.1 ha, área basal de 0.1 m²/0.01 a 10.9 m²/0.01 ha y alturas con intervalos desde 7.8 hasta 10.7 m).

En específico los manglares que bordean la parte suroccidental de la Laguna de Términos (Atasta, Estero Pargo) y la parte noreste (Xibuja) en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna de Términos, presenta los mayores atributos forestales (**Tabla 1. Figuras 5, 6 y 7**). Este tipo fisonómico es atribuido a las características fisiográficas, climáticas de la región, por la llanura aluvial de ríos que fluyen hacia las riberas sur y occidental, y por la acreción de barreras orgánicas (Gutiérrez-Estrada y Castro del Río, 1988); generando condiciones de baja salinidad, alta turbidez y mayor concentración de nutrientes, al descargar los ríos Palizada y Chumpan hacia la región suroccidental y al noreste el río Candelaria. Yáñez-Correa (1963) menciona que estas condiciones, establecen buena circulación y aportes constantes de nutrientes vía intersticial (Yáñez-Correa, 1963). Autores como, Cintrón y Schaeffer-Novelli (1983) y Odum *et al.*, (1982) mencionan que los manglares se desarrollan mejor en ambientes deposicionales, como los deltas y desembocadura de los ríos, donde existe una baja energía de arrastre, cuyos sustratos están constituidos por sedimentos aluviales acarreados por las corrientes, ricos en lodos y arcillas, con alto porcentaje de materia orgánica; todo ello favoreciendo el mayor desarrollo de los árboles de mangle.

Tabla 1. Estructura forestal y tipos fisonómicos de los bosques de manglar en estudio utilizando el método parcelas de 100 m².

SITIOS	Tipo fisonómico/especies	Densidad	Área basal	Altura
		(Ind. ha⁻¹)	(m².ha⁻¹)	(m)
Atasta. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche.	Ribereño* (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	1400	65.5	12.0
Estero Pargo. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche.	Borde * (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	1450	20.2	6.1
	Borde-ribereño ** (<i>Ag</i>)	2700	28.9	5.8
Xi buja Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche.	Borde-ribereño* (<i>Ag y Rm</i>)	2600	39.0	6.0
	Ribereño ** (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	3500	44.0	8.0
Sabancuy. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche.	Borde* (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	2100	15.5	6.0
	Borde** (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	3500	21.6	7.2
Champlotón, Campeche.	Borde* (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	1200	5.8	7.9
	Cuenca** (<i>Lr y Rm</i>)	7550	11.3	4.6
Río Verde. Reserva de la Biósfera "Los Petenes", Campeche.	Borde* (<i>Rm, Ag y Lr</i>)	4200	19.1	10.3
	Matorral-cuenca** (<i>Ag</i>)	7850	13.0	2.5
Peten Neyac. Reserva de la Biósfera "Los Petenes", Campeche.	Borde* (<i>Rm</i>)	6900	44.5	7.3
	Cuenca-matorral** (<i>Rm y Ag</i>)	5150	7.7	3.3

Rm: *Rhizophora mangle*; **Ag:** *Avicennia germinans*; **Lr:** *Laguncularia racemosa*. *Manglar de borde (ubicado en la orilla de la laguna/mar o desembocadura del río). **Manglar interno (posterior al manglar de borde).



Figura 5. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Atasta en la parte noreste en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna Términos, Campeche. **(a)** Determinación *in situ* del diámetro a 1.30 m en un árbol de *Avicennia germinans*, **(b)** Parcelas para la determinación del incremento diametral y **(c)** Árboles de *Laguncularia racemosa* asociados a plantas de *Acrostichum aureum*.

Por otra parte, a través del perfil de vegetación en Estero Pago, se estableció un incremento en los atributos forestales por la homogeneidad en la inundación y constante circulación del agua intersticial y aporte de nutrientes; esto validado en forma indirecta con los valores del potencial redox (**Figura 6**). Asimismo, es relevante mencionar que el bosque interno en el sitio Estero Pargo es causado por la influencia del agua de la laguna, el aporte de nutrientes por el río Palizada durante la época de lluvias; ya que este perfil se trazó de la orilla del estero hacia la laguna y muy probablemente por los arroyos que se localizan en la Isla del Carmen (*e.g.* Caleta, Arroyo Grande, De los Francés y el Coral).

(a)



(b)



Figura 6. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Estero Pargo, en el Área Natural de Flora y Fauna de laguna Término, Campeche. (a) Árboles de *Rhizophora mangle* (bosque del borde tipo borde) y (b) Árboles de *Avicennia germinans* (bosque interno, tipo borde con tendencia ribereño) en parcelas para determinar el incremento diametral (monitoreo a largo plazo).

En el caso del perfil de Xibuja la dominancia de *Avicennia germinans* a lo largo del perfil e incremento de los atributos forestales (**Figura 7**), es derivado de los suelos cárticos, nivel topográfico y de las descargas de agua dulce vía subterránea que caracterizan a esta zona (y toda la parte oriental de la laguna de Términos).

(a)



(b)



Figura 7. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Xibuja en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna Término, Campeche. (a) Bosque mixto de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* tipo borde ubicado en la orilla de la laguna. (b) Bosque mixto *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle* tipo borde con tendencia ribereño (bosque interno).

En el caso de los bosques de mangle que bordean el cauce del río Champotón, la fisonomía tipo borde es derivada de las condiciones mesohalinas (aportes de agua dulce por el cauce del río e influencia marina), y el aporte de constante de nutrientes (natural y antrópico). A largo del perfil de vegetación se observó una disminución de los atributos forestales al incrementarse la topografía, ocasionando menor frecuencia y amplitud de inundación superficial hacia el interior del bosque; estableciendo con ello la disminución en los atributos forestales (**Figura 8**). Esto validado a través de la distribución de las especies dominantes; donde el bosque que bordea el canal del río es *Rhizophora mangle* y hacia el interior del bosque (bosque interno) fue *Laguncularia racemosa*, no sólo por la menor inundación superficial, sino por la calidad del agua al registrarse actividad agrícola y ganadera. Schaeffer-Novelli (1981) y Odum *et al.*, (1982) describen que los manglares se desarrollan mejor en ambientes deposicionales, como son los deltas y desembocaduras de los ríos, donde existe una baja energía de arrastre, cuyos sustratos están constituidos por sedimentos aluviales acarreados por las corrientes, ricos en lodos y arcillas, con alto porcentaje de materia orgánica

(a)



(b)



Figura 8. Características ambientales del perfil de vegetación en el sitio de Champotón al noreste del estado de Campeche. **(a)** Bosque mixto de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, tipo borde. Bióloga Claudia García Zaragoza determinando la estructura forestal. **(b)** Bosque mixto de *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, tipo cuenca. Biólogo Roberto Arana Lezama.

La Reserva de la Biósfera los Petenes (Río Verde y Peten Neyac), se caracteriza por presentar un tipo fisonómico borde; con excepción de la segunda franja en el perfil de las dos localidades, en donde se observa una pérdida en los atributos forestales. En el caso de del bosque interno de Peten Neyac la disminución en los atributos forestales es causada por la pérdida de energía en los árboles, originada por la disminución en la amplitud de marea (amplitud de columna de agua) hacia el interior del bosque (al incrementar el nivel del suelo), debido al incremento en la evaporación, aumentando la concentración de la salinidad en el agua intersticial y disminuyendo la disponibilidad del oxígeno disuelto, hasta llegar a valores de fotoinhibición enzimática y fotosintética (**Tabla 1** y **Figura 9** y

11). Autores como Saenger (2002) y Agraz Hernández *et al.*, (2007) mencionan que plantas presentan inhibición enzimática y fotosintética bajo condiciones anoxicas (potenciales redox menores a -320 mV). En específico para el sitio de Río Verde la pérdida de los atributos forestales en el bosque interno, es causada por el aporte nutrientes de origen terrigénico, al obstruirse el flujo y reflujo del agua (hidroperiodo), clausurar el paso de los sedimentos e incrementado los tiempos de residencia del agua; esto por la construcción de una carretera adyacente al humedal de manglar; afectándose el nivel topográfico, ocasionando efectos de subsidencia. Al respecto, Flores-Verdugo *et al.*, (2007) mencionan que el microrelieve y el patrón de inundación (frecuencia y periodo de inundación) son factores determinantes para la ausencia o presencia de los manglares e incluso entre las diferentes especies; ya que éstas presentan preferencias de inundación. Por su parte, autores como Navarrete y Oliva-Rivera (2002) y Agraz Hernández *et al.*, (2006) atribuyen la baja estructura forestal de los ecosistemas al norte de la Península de Yucatán y algunas áreas de la Reserva de la Biósfera los Petenes, a las características cársticas del suelo y a la ausencia de ríos superficiales; predominando en los ecosistemas; ríos subterráneos, poco aporte de nutrientes y sedimentos finos; por la escasa circulación del agua, la influencia de diversas actividades antropogénicas como la construcción de carreteras (que modifican el patrón hidrológico y por lo tanto la microtopografía), aporte de aguas residuales y desechos sólidos.



Figura 9. Características ambientales del perfil de vegetación en el sitio de Río Verde en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche. **(a)** Bosque mixto de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* tipo borde ubicado en la línea de costa. **(b)** Bosque monoespecifico de *Avicennia germinans* tipo matorral con tendencia cuenca.

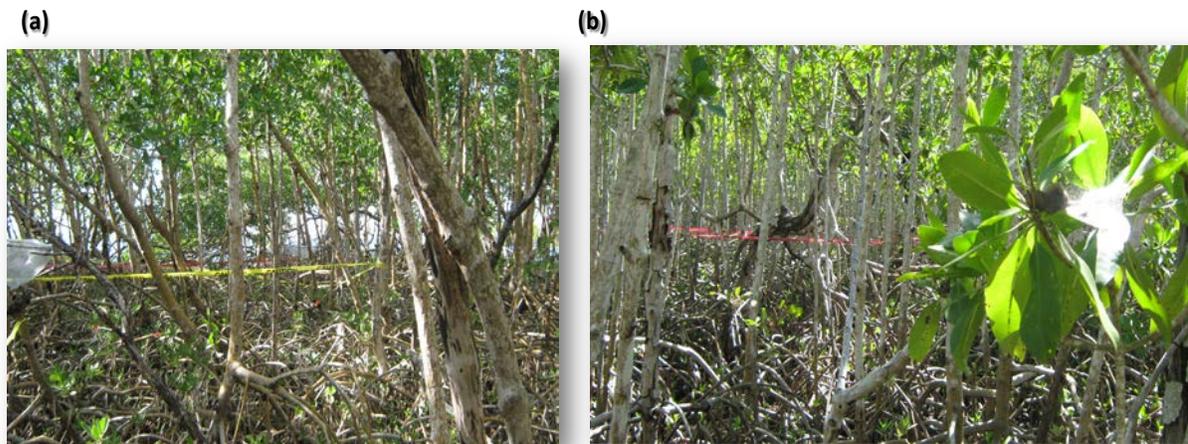


Figura 10. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Peten Neyac en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

B) Variación de los atributos forestales en los bosques de mangle por localidad y entre años (2009 y 2011)

En general los bosques de mangle a lo largo del litoral del estado de Campeche registraron disminución en los atributos forestales a través del perfil de vegetación del 2009 al 2011, al registrarse menor número de individuos por hectárea; y por ende, menor área basal, con excepción del manglar de borde en Champotón y en el manglar interno de Peten Neyac. Esto a causa de la alta mortalidad que se detectó en los dos sitios de Río Verde (30.9 y 54.9% en el borde e interno, respectivamente), los manglares internos de Champotón (31.4%) y Xibuja (20.9%). En el caso de Río Verde, la masiva mortandad se atribuye a las altas temperaturas, evaporación del agua y concentraciones de salinidad que se han venido registrando desde el año 2006 (Gaona Pineda 2007 y Agraz Hernández 2003). En Xibuja, la mortalidad, es atribuida a los intensos vientos provocados por las tormentas durante la época de lluvia y nortes que originaron la caída de árboles adultos. Sin embargo, al aplicar un análisis de variables múltiples, se estableció que no existe diferencia significativa (**Tabla 2**).

Tabla 2. Prueba de MANOVA entre la densidad y el área basal de los bosques de manglar en los siete sitios de muestreo entre los años 2009 y 2011.

Atributos forestales	Criterios	Prueba estadística	Estadístico F	gl núm.	gl denom.	Valor p
Comparación entre las entre los 7 sitios de muestreo	Wilks	0.908	1.56	2	23	0.332
	Lawley-Hotelling	0.100	1.56	2	23	0.332
	Pillai's	0.091	1.56	2	23	0.332
	*Los valores de s= 1; m= 0.0 ; n= 10.5					

Atasta: Los atributos estructurales del bosque de manglar en Atasta (área basal, densidad y altura) disminuyeron en su área basal y densidad durante el año 2009 al 2011 (de 65.5 m² ha⁻¹ a 49.5 m² ha⁻¹ y de 1,400 a 1,250 ind.ha⁻¹ respectivamente) esto como reflejo de la

muerte y tala clandestina de árboles de mangle dentro de las parcelas en estudio, registrándose el 10.7% de mortalidad (12.0 m).

Esterio Pargo: En los bosques de mangle ubicados en el borde e interno, se registró la pérdida en términos de área basal (de 20.2 a 19.1 m² ha⁻¹ y de 28.9 a 23.9 m² ha⁻¹, respectivamente) y densidad (de 1,450 a 1,300 ind.ha⁻¹ en el borde y de 2,700 a 2,150 ind.ha⁻¹ en el interno). Lo anterior debido a la muerte de árboles de mangle dentro de las parcelas en estudio, con 16.1% en el manglar de borde y 14% en el interno.

Xibuja: En los bosques de mangle de esta localidad, registró la disminución en el área basal (de 39.0 a 33.9 m²ha⁻¹ y de 44.0 a 42.6 m²ha⁻¹ para el manglar de borde e interno, respectivamente) y densidad (de 2,600 a 2,050 ind.ha⁻¹ en el borde y de 2,500 a 2,450 ind.ha⁻¹ en el interno) del 2009 al 2011. Obteniéndose una mortalidad del 8.8% en el manglar del borde. Sin embargo, la mortalidad fue mayor en el manglar interno (20.9%) debido a los intensos vientos que ocasionaron la caída de árboles adultos durante la época de nortes y principalmente durante las lluvias.

Sabancuy: El decremento en el área basal (de 15.5 a 9.3 m² ha⁻¹ y de 21.6 a 20.0 m².ha⁻¹ respectivamente) y densidad (de 2,100 a 1,650 ind.ha⁻¹ y de 3,500 a 3,050 ind.ha⁻¹ respectivamente), en los bosques del borde e interno, también fue registrado para la localidad de Sabancuy. Esto a causa de la mortalidad del 13.1 y 12.6% en los árboles de manglar de borde e interno, respectivamente.

Champtón: En esta localidad, se registraron incrementos en el área basal de ambos bosques del 2009 al 2011 (de 5.8 a 6.4 y de 11.3 a 11.7 m².ha⁻¹ para el manglar de borde e interno, respectivamente) referido ello a un crecimiento en el diámetro de los troncos. Sin embargo, se presentó una disminución en la densidad de árboles de 7,550 a 5,500 ind.ha⁻¹ para el manglar interno, con una mortalidad del 31.4%; caso contrario en el bosque del borde, manteniendo una densidad de 1,200 ind.ha⁻¹ durante los dos años de estudio. Esto

derivado del uso de la madera para la construcción de potreros, para artes de pesca (varas) y leña.

Río Verde: En esta localidad, los atributos forestales disminuyeron del 2009 al 2011 con valores en área basal de 19.2 a 17.8 m².ha⁻¹ y densidad de 4,200 a 2,900 ind.ha⁻¹ en el manglar de borde; y, de 13.0 a 7.2 m².ha⁻¹ y 7,850 a 4,100 ind.ha⁻¹ en el manglar interno con una mortalidad para ambos sitios de 30.9% y 54.9%, respectivamente. Esta alta mortalidad fue detectada en el bosque del borde y principalmente en el interno. Esto a causa de las altas temperaturas, evaporación del agua y salinidades superiores a 90 ups.

Peten Neyac: La estructura forestal en términos de área basal y densidad durante el 2009 al 2011, se vio disminuida en el manglar de borde (44.8 a 24.1 m² ha⁻¹, 6,900 a 6,000 ind.ha⁻¹; con alturas de 7.3 m en ambos años) con una mortalidad de 13.6%. En el caso del mangle interno, los atributos forestales no presentaron cambios durante los 3 años. Sin embargo, se registró un 10.5% de mortalidad.

C) Distribución, microtopografía y niveles de inundación

El conocimiento de la microtopografía en los manglares y otros humedales, nos permiten determinar la distribución de los diferentes tipos de humedales e intervalos de distribución del nivel del suelo por especie de mangle (Agraz Hernández, 1999; Flores Verdugo *et al.*, 2007).

Para determinar la distribución microtopográfica en los bosques de manglar del estado de Campeche, en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Champotón y del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, se efectuaron dos transectos microtopográficos, estableciéndose diferencias en los niveles del suelo entre los tipos fisonómicos a través de los perfiles de vegetación y entre las tres regiones en estudio (**Tabla 1 y 3**). Asimismo, y de manera indirecta las alturas de los pneumatoforos definieron diferentes amplitudes de inundación para estas tres regiones. Donde la mayor amplitud se registró en Atasta, Xibuja

y río Champotón; por el menor nivel del suelo, y por la dependencia de inundación que tiene Atasta con el patrón de marea, el aporte de los ríos Palizada; y Xibuja con la afluencia del Candelaria, escurrimientos vía subterráneo por las lluvias y la circulación del sistema lagunar. Es por ello que se presenta el mayor índice de valor de importancia (IVI) en *Avicennia germinans* (161.99), al establecerse condiciones mesohalinas, neutras, óxicas en ambas localidades; y, con la amplitud de marea de aproximadamente 40 cm, en Atasta.

En el caso del río Champotón es atribuida a la mayor amplitud de inundación por el volumen de descarga del río y los aportes de descargas del agua urbana y agrícola; validándose estas condiciones con el mayor IVI de *Laguncularia racemosa* (239.6) para esta localidad. Similar respuesta fue detectada con la densidad de los pneumatoforos en este estudio; donde se presentó mayor amplitud de inundación y densidad de pneumatoforos, ya que el aumento de la inundación incrementa la capturar del oxígeno atmosférico (**Tabla 3 y 4**). Conde Medina (2011) registró a lo largo del caudal del río Icahao, Campeche la los mayores IVI en *L. racemosa* y *A. germinans*, debido a que se ha favorecido el establecimiento de estas especies por los cambios ambientales prevalecientes, a causa de la presión negativa que han ejercido agentes alóctonos al ecosistema. Puesto que los árboles de *L. racemosa* se ven beneficiados en el crecimiento, dominancia y distribución (y con mayor intensidad a partir de la parte media alta) a causa de las condiciones mesotróficas hasta eutróficas, por la presencia de fosfatos provenientes de los cultivos de la caña de azúcar (por escurrimientos agrícolas) y el ingenio azucarero (descargas provenientes de asentamientos urbanos y la actividad ganadera). Posteriormente y en la localidad de Estero Pargo y Sabancuy se presentó menor amplitud de inundación en los humedales de manglar. Pues los bosques ubicados en el Estero Pargo dependen de los afluentes del río Palizada durante la época de lluvias, la circulación del sistema lagunar y el patrón de marea, así como de los arroyos ubicados en la Isla del Carmen, Campeche. Esto indicado con el mayor IVI, con 160.5 de *R. mangle* en la orilla del estero y 300 de IVI de *A. germinans* en el bosque interior. En específico para el bosque de Sabancuy el patrón de inundación está definido por los escurrimientos (en el bosque de la orilla la especie con el mayor IVI fue *A. germinans*, con 157.0) y aporte subterráneo por las lluvias (con mayor IVI *R. mangle* en el bosque interno, con 142.19) y brazos del río Candelada, favorecido por el suelo cárstico

(como ya fue descrito en el capítulo de estructura forestal). Esto validado mediante la altura y densidad de los pneumatoforos. Schnetter (2002), encontró que los pneumatoforos más largos se encuentran en lugares donde el nivel del agua es amplio durante la época de lluvias, mientras que en sitios con inundaciones menores los pneumatoforos permanecen con menor altura.

Para los bosques de manglar ubicados en la Reserva de la Biósfera los Petenes, detectó el mayor nivel del suelo en comparación con los bosques del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos y menor amplitud de marea; por ende, la altura de los pneumatoforos fue menor (**Tabla 4**). Autores como Flores Verdugo *et al.*, (2007) mencionan que la fisonomía de los bosques de manglar puede estar regida por variaciones inferiores a tan solo 5 cm en el relieve. Determinándose de esta manera el establecimiento y distribución de las diferentes especies, el tipo fisonómico, la extensión del bosque y el tipo de humedal; validando con ello la zonación de especies y fisonomías observadas en el presente estudio. Sin embargo, el mayor IVI para esta subregión fue para *Rhizophora mangle*, por la directa y mayor frecuencia de inundación proveniente de las mareas.

Tabla 3. Microtopografía en los bosques de manglar en diferentes zonas del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Champotón y Reserva de la Biósfera los Petenes.

SITIOS Especies	Limite inferior	Limite superior	Media	Error estándar
Atasta. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche (<i>Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr*</i>).	-41	23	-1.1	3.7
Estero Pargo. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche (<i>Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr*/Ag**</i>).	-1.0	0		
	0.5	2	0.8	0.27
Xibuja Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche (<i>Ag</i> y <i>Rm*/Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr**</i>).	-24.74	25.6	0.57	5.02
	-2.0	1.5-	0.06	0.43
Sabancuy. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche (<i>Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr*/Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr**</i>).	-11.0	1	-2.4	2.1
	-11.0	1	-3.7	2.05
Champotón (<i>Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr*/Lr</i> y <i>Rm**</i>).	-9.5	10	0.08	1.2
	-2.5	0	-0.93	0.69
Río Verde. Reserva de la Biósfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (<i>Rm</i> , <i>Ag</i> y <i>Lr*/Ag**</i>).	-11	0	-5.6	1.4
	-5	1	-0.42	0.45
Peten Neyac. Reserva de la Biósfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (<i>Rm*/Rm</i> y <i>Ag**</i>).	-19	71.5	13.8	11.47
	-5	3.5	0.8	0.86

Rm: *Rhizophora mangle*; **Ag:** *Avicennia germinans*; **Lr:** *Laguncularia racemosa*. *Especies en el manglar de borde (ubicado en la orilla de la laguna/mar o desembocadura del río). **Especies en el manglar interno (posterior al manglar de borde).

Tabla 4. Altura y densidad de los pneumatoforos en las diferentes localidades de muestreo en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos y la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

Sitio	Altura (cm)		Densidad (indiv./25 m ²)	
	Bosque del borde	Bosque interno	Bosque del borde	Bosque interno
Atasta	39±1.4		194±14	
Esterio Pargo	17.9±1.4	26.7±1.4	138.5±34.5	155±31
Xibuya	26.9±2.9	21.02±2.0	89±21	66±1
Sabancuy	18.8±1.9	22.8±2.5	62.5±4.5	85±21
Champlotón	21.8 ± 1.4	55±1.3	134.8±4.5	138.5±34.5
Río Verde	10.4±0.9	13.9±1.2	90±53	90.5±7.5
Peten Neyac	13.9 ± 1.2	18.9 ± 0.8	31.5±3.5	102± 90

7.2 FASE DE MONITOREO MENSUAL:

(A) Parámetros químicos del agua intersticial

El comportamiento general de la concentración de la salinidad del agua intersticial en los bosques de mangle que bordean el litoral del estado de Campeche, es inversamente proporcional a la tendencia de la estructura forestal y a la concentración del oxígeno disuelto en el agua intersticial (valores del potencial redox); incrementándose de sur a norte la concentración de la salinidad, desde 8 hasta 64 ups y definiéndose condiciones de oxícas a hipoxicas-oxícas (de Atasta hacia Peten Neyac) (**Figura 11, 12 y 13. Tabla 1**). Con excepción de Sabancuy que presentó las máximas concentraciones en la salinidad y el río Champlotón que no se incluye en la tendencia general antes descrita.

Esta tendencia general es consecuencia de las diferencias que presentan las localidades; con respecto a los aportes del agua dulce (ríos) y marina (mareas), intensidad y dirección de los

vientos por época del año (“*nortes*” y “*surestes*”); por ende, a la circulación del sistema lagunar y/o frente marino. A su vez la tendencia general es definida por los ciclos meteorológicos anuales.

En específico para los bosques de mangle localizados en la zona sureste del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, se detectaron las salinidades más altas y los valores del potencial redox más bajos (**Figura 11 y 12**); debido a menor afluencia del agua dulce; ya que los volúmenes del río Candelaria son bajos en comparación a los aportes por el río Palizada, por lo que el humedal de manglar depende de las escorrentías subterráneas. Es por ello que estacionalmente se definen condiciones anti-estuarinas durante el estiaje (donde la evaporación supera a la entrada de agua dulce) y durante las lluvias estuarino (**Figura 11**). Caso contrario para la zona suroeste del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos; donde se detectaron las menores salinidades y mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua intersticial, por el ingreso del agua dulce de los ríos San Pedro, San Pablo y Palizada (**Figura 11 y 12**).

Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos

Atasta: El promedio anual de la salinidad intersticial fue de 24.0 ± 8 ups, con un mínimo de 8 y un máximo de 35 ups del 2009 al 2011. Durante los ciclos del 2009 y 2010 se detectaron similares salinidades (22.0 ± 8 ups y 24.0 ± 6 ups, respectivamente. **Figura 11**). Sin embargo, la disminución de 106 mV del 2009 al 2010, establecieron menores concentraciones de oxígeno disuelto en el agua intersticial, ya que se disminuyó el potencial redox de -37.0 ± 89 mV a -143 ± 133.0 mV; a pesar de ello las condiciones ambientales se mantuvieron óxicas. Esto como reflejo de la intensa sequía que se registró en el 2009 (**Figura 12**. Agraz Hernández *et al.*, 2012). Barreiro Güemes (1999) reporta bosques mixtos con alto desarrollo y condiciones ambientales dulceacuícolas-estuarinas (0 ups a 21 ups), con densidades desde 1,650 a 3,100 árbol/ha y un área basal desde 32.1 a $79.3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ desde un tipo borde con tendencia ribereño.

Estero Pargo: El promedio de la concentración de la salinidad y los valores del potencial redox en el agua intersticial del 2009 al 2011 fue de 47.3 ± 6.2 ups y -275.0 ± 40.2 mV, respectivamente (**Figura 11**). Es relevante mencionar que las variaciones entre los años 2009 y el 2010 fue de 8.8 ups, con un decremento de 96.9 mV, esto causado por la disminución del 22% de lluvias en el año 2009. Agraz Hernández *et al.* (2012) registraron en un bosque monoespecífico de *Rhizophora mangle* al norte de la laguna de Términos, para el 2009 durante la época de lluvias (43.1 ± 1.6 ups y -342.5 ± 29.8 mV) y nortes (41.8 ± 8.6 ups y -326.5 ± 72.2 mV) la salinidad se incrementó 14 ups y los valores del potencial redox se abatieron. Por su parte, Chan Keb (2007) menciona que el desarrollo de *R. mangle*, es atribuido al constante aporte de agua dulce, nutrientes terrígenos y las características del sustrato que existe en la laguna de Términos, Campeche. Las condiciones ambientales generales durante el 2009 al 2011, presentaron análogos patrones de cambio en el bosque interno que con respecto al bosque ubicado en el borde de la localidad Estero Pargo; de euhalina y óxicas con tendencia hipóxicas (52.5 ± 9.2 ups y de 94.4 mV a -254.2). Asimismo, dados los cambio del 2009 al 2010 se estableció una disminución en el aporte de agua dulce por parte del río Palizada (84.7 mV de diferencia).

Xibuja: Del 2009 al 2011 se estableció una concentración promedio en la salinidad y el potencial redox del agua intersticial de 45.8 ± 6.2 ups y -135.5 ± 119.7 mV, respectivamente (**Figura 12**). Las variaciones registradas del 2009 al 2010, en la localidad de Xibuja, presentaron variaciones mayores que el resto de las localidades de este estudio. Esto como reflejo de la hidrología y tipo de suelo que caracteriza a esta zona (vía subterránea y cárstico, respectivamente), con una diferencia de 159.1 mV, estableciendo condiciones hipóxicas para el 2010. Las condiciones ambientales establecidas en el 2010 por la disminución de la lluvia en el 2009, establecieron ambientes más estresantes para el bosque de mangle interno; incrementándose 6.4 ups y disminuyendo 153.7 mV. Autores como Houghton *et al.*, (2001) señalan que al disminuir la precipitación se tiene como resultado la disminución en la entrada del agua dulce vía superficial e intersticial, incrementando la salinidad del suelo, un decremento en la productividad, crecimiento y sobrevivencia de las plántulas de manglar.

Sabancuy: Las condiciones promedio del agua intersticial desde el 2009 al 2011 se definieron como de tipo euhalinas (de 57.0 ± 5.3 ups,) y óxicas con tendencia hipóxica (-244.5 ± 75.7 mV) en el bosque de manglar de Sabancuy (**Figura 11**). Las variaciones del 2009 al 2010 no establecieron diferencias significativas (1.3 ups y -83 mV). Sin embargo, las condiciones en la concentración de la salinidad y el oxígeno disuelto en el agua intersticial del bosque interno, registraron 9.4 ups más y 112.0 mV menos, respectivamente del 2009 al 2010.

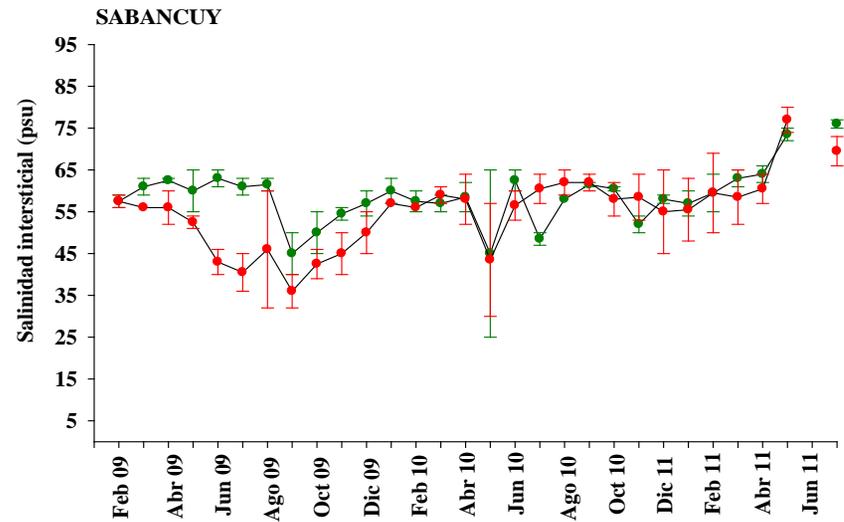
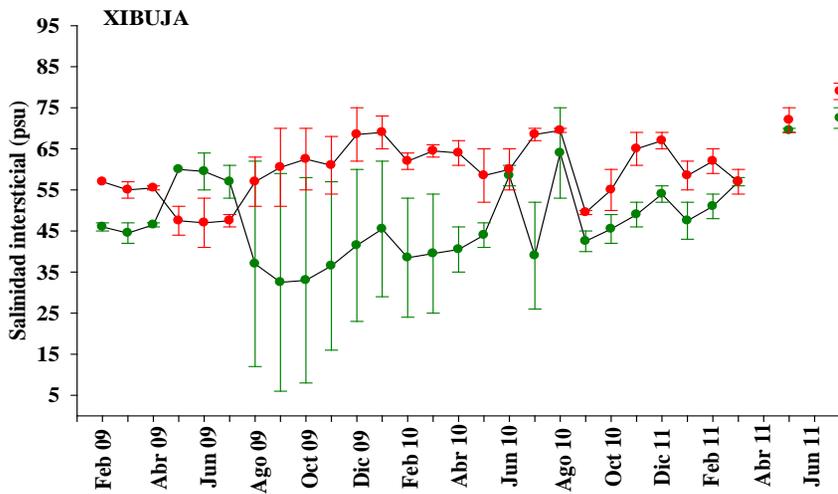
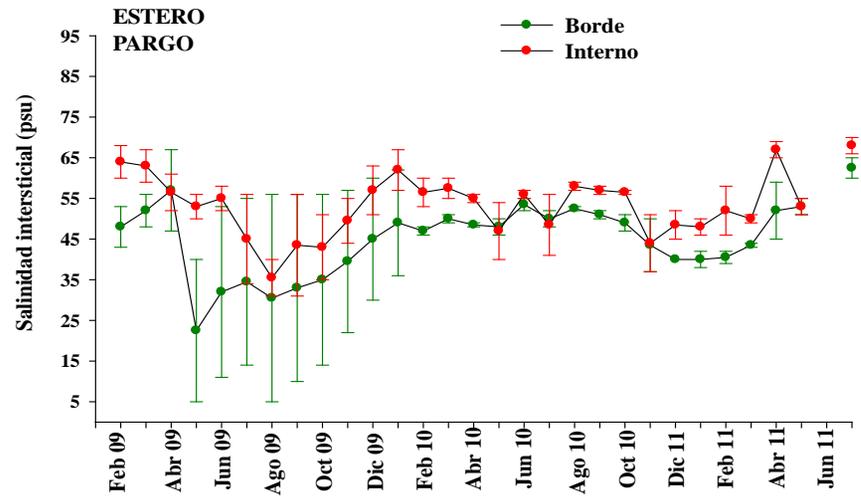
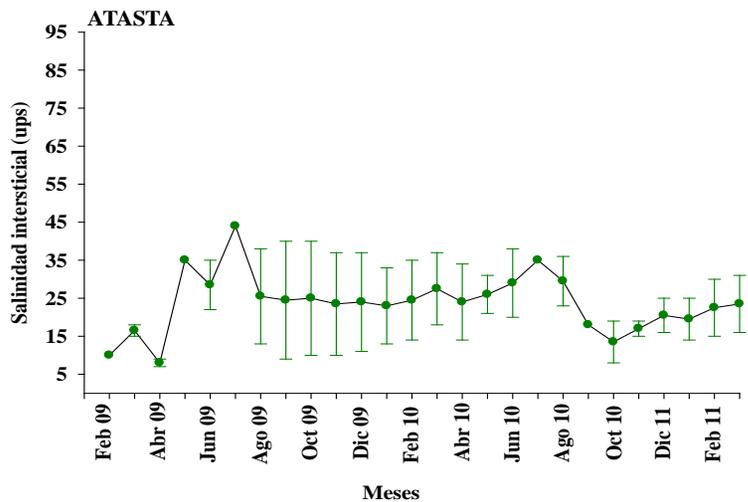


Figura 11. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche.

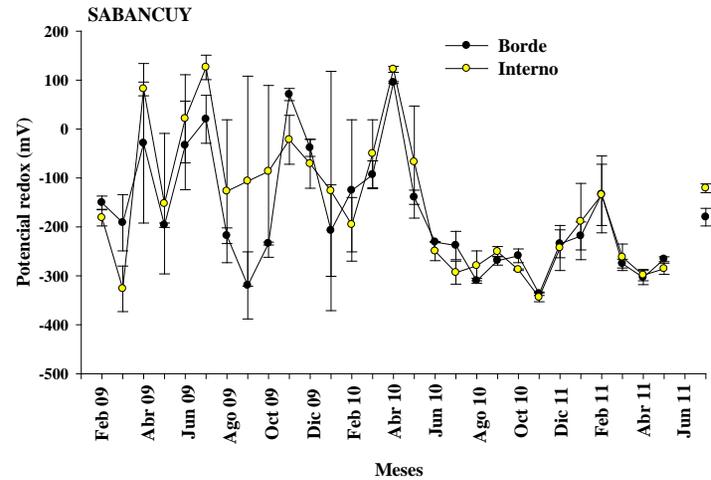
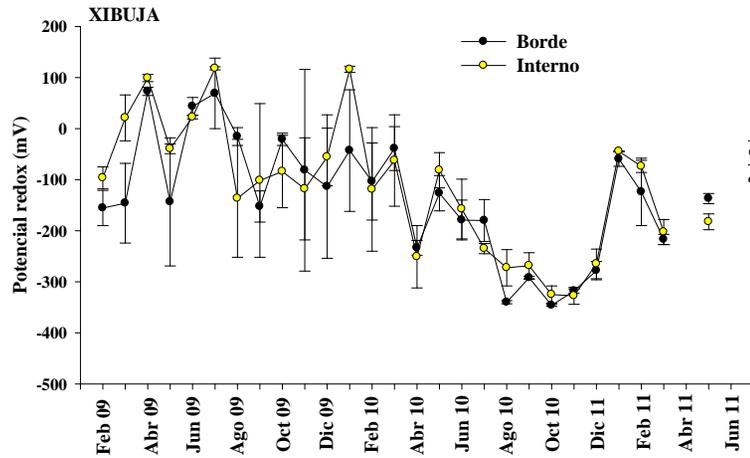
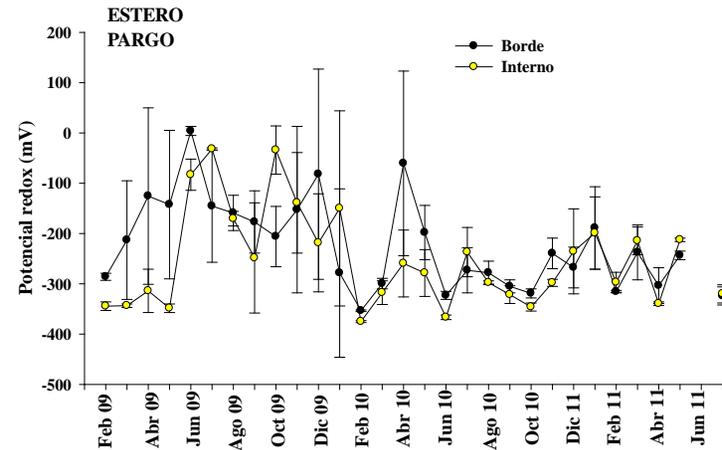
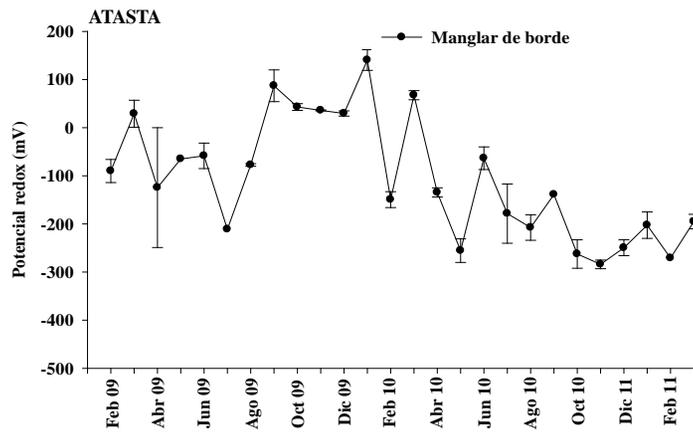


Figura 12. Variación mensual del potencial redox en el agua intersticial por tipo de manglar en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche.

Los valores de pH son muy similares en todas las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, tanto para el manglar de borde como para el interno; definiéndose condiciones ácidas con tendencia alcalina (**Figura 13**). Esto derivado de la mezcla de agua dulce y marina (estuarina) en el sistema lagunar estuarino.

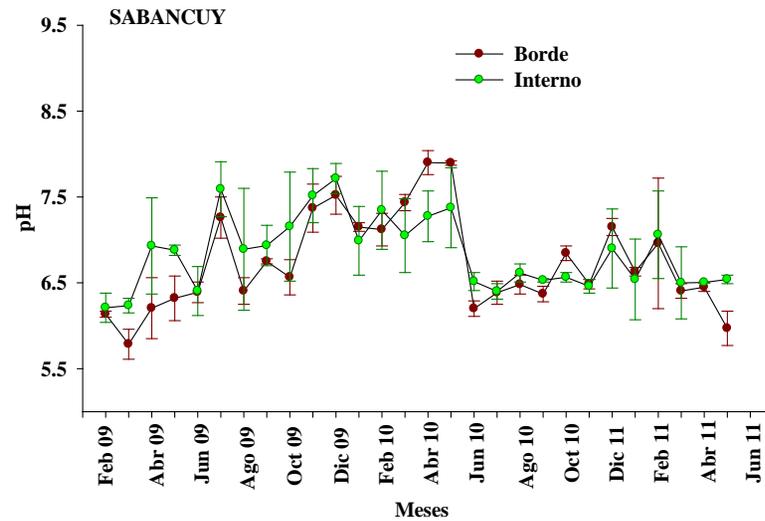
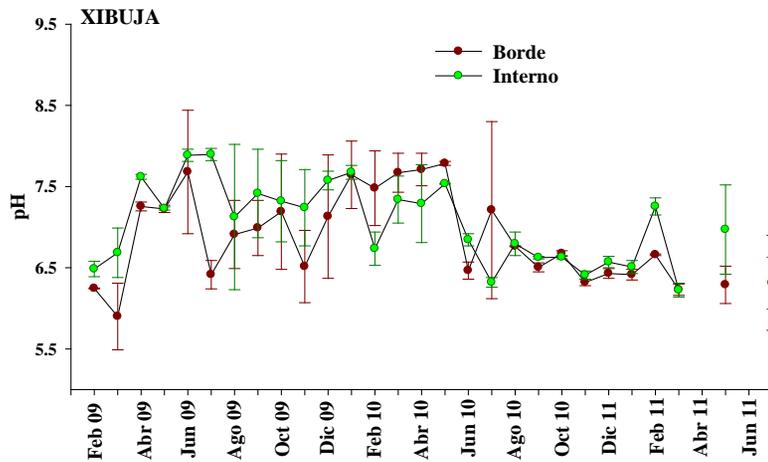
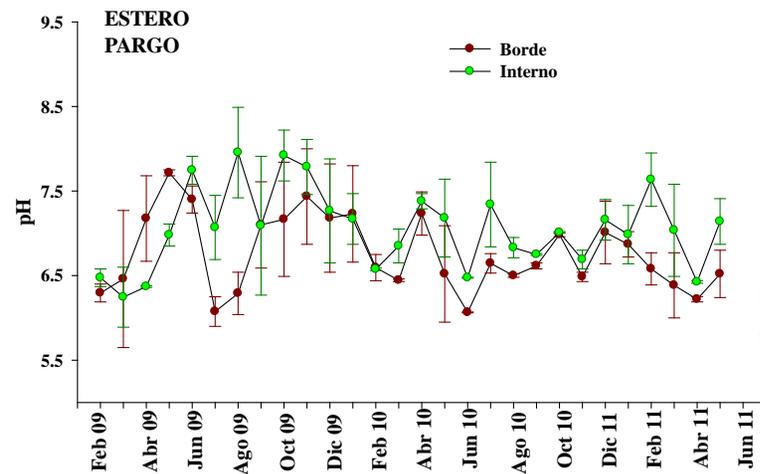
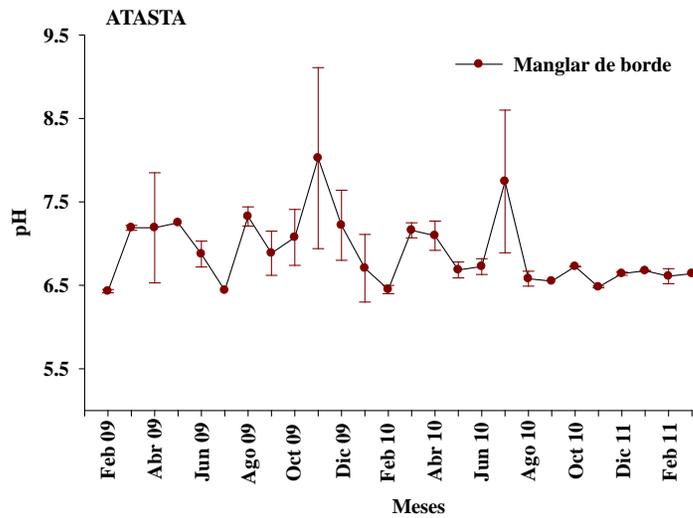


Figura 13. Variación mensual del pH en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche.

Río Champotón: El promedio de la salinidad del agua intersticial del bosque de manglar que bordea el caudal del río Champotón, se presentaron condiciones mesohalinas (22.1 ± 4.9 ups y -172 ± 126 mV), similar a la localidad de Atasta (**Figura 14**). Sin embargo, debido al menor afluente del agua dulce que se descarga en el río Champotón, se definió menor disponibilidad de oxígeno en el agua intersticial (23.3 ± 4.5 ups y -203.8 ± 108.3 mV), pero sin perder las condiciones óxicas (**Figura 15**). Autores como Gleason *et al.*, (2003) se refieren a que las condiciones de oxidación están relacionadas con la hidrología (tiempo de residencia del agua, frecuencia de inundación por efecto de la marea) propiciando la disponibilidad de fosfatos (fundamentales para la producción del tejido fotosintético) y otros nutrientes en estado de oxidación, como los nitratos.

Por otra parte, las variaciones interanuales (entre 2009 y 2010), no presentaron diferencias significativas (0.4 ups y 49.3 mV) (**Figura 15**). Sin embargo, el bosque de mangle interno presentó disminución del oxígeno disuelto del 2009 al 2010 hasta condiciones hipóxicas (-292.6 mV) (**Figura 15**).

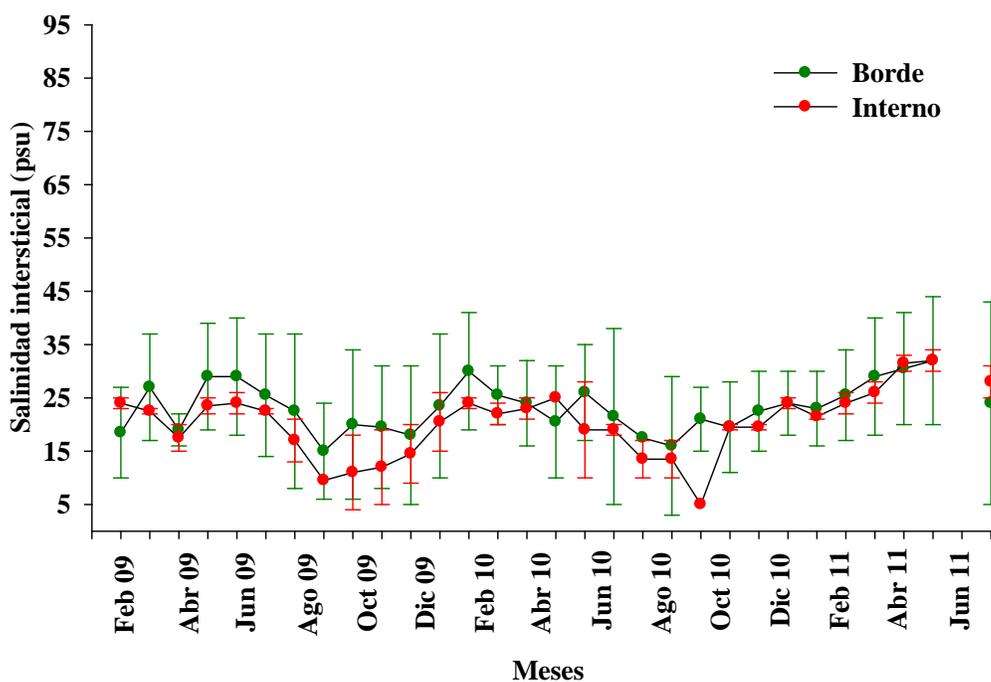


Figura 14. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en la localidad de Champotón, Campeche.

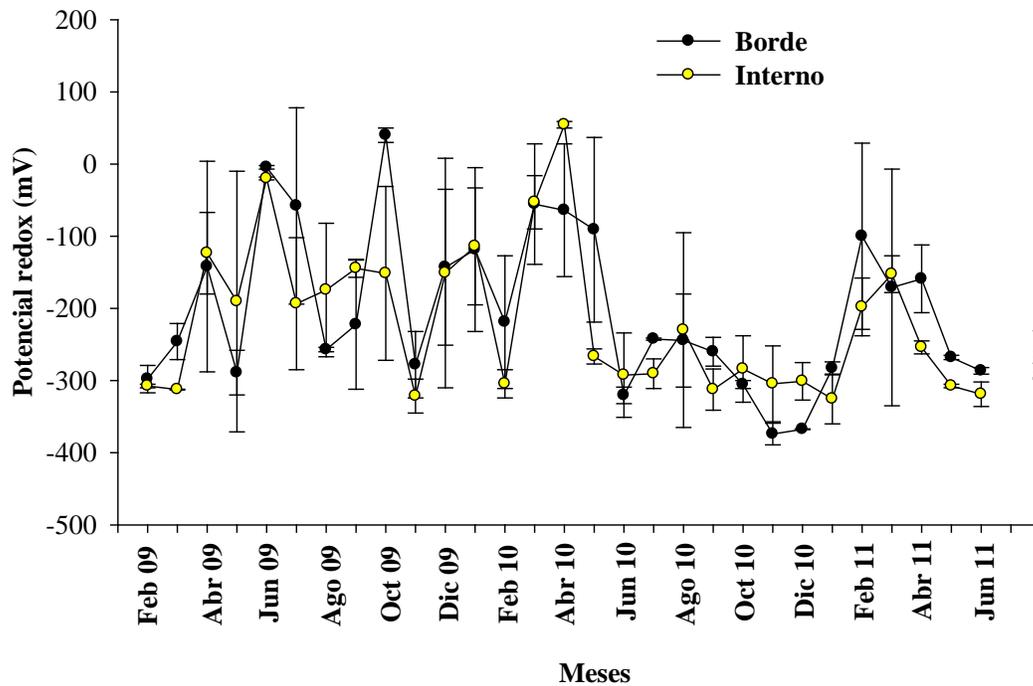


Figura 15. Variación mensual del potencial redox en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en la localidad río Champotón

Río Champotón

Los valores de pH para la localidad de río Champotón fluctuaron de 6.8 a 7.0 para el manglar de borde y de 6.7 a 7.0 para el interno, registrándose ambos intervalos de valores durante el 2011 y 2009, respectivamente (**Figura 16**).

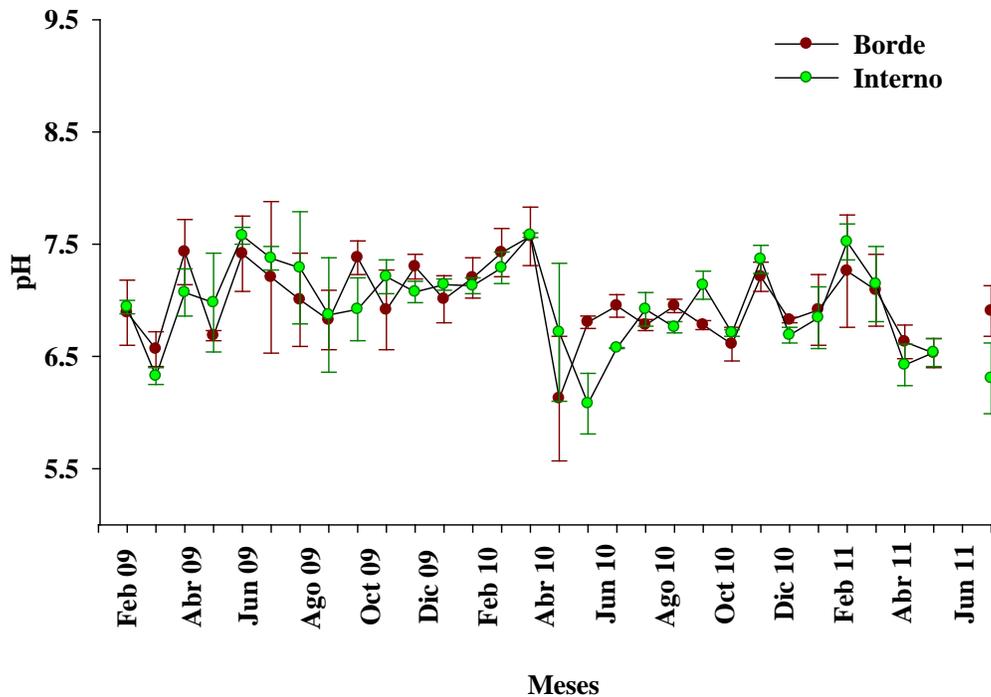


Figura 16. Variación mensual del pH en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en la localidad de río Champotón, Campeche

Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche

Los bosques de manglar localizados en Río Verde y Peten Neyac, en la Reserva de la Biósfera Los Petenes (RBLP), determinaron menor disponibilidad de oxígeno disuelto y concentraciones más altas en la salinidad del agua intersticial; desde óxica hasta hipóxicas y euhalino (-115.2 mV hasta -337.5 mV y 42.7 ups hasta 58.4 ups, respectivamente), a diferencia de las localidades del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Esto atribuido a las diferencias en el patrón hidrológico entre las localidades de la Reserva de la Biósfera los Petenes y Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos; como ya fue citado en el patrón establecido en este estudio para la estructura forestal (disminuyendo de norte a sur en términos de altura y área basal). Al respecto, Boto (1984), Lewis (1982) y Mitsh y Gosselink (2000) sugieren que la hidrología describe las condiciones de óxido/reducción de un sitio en específico, estableciéndose con ello cambios en el potencial redox y por ende en los parámetros fisiológicos de la planta.

Río Verde: En el manglar borde de la localidad de Río Verde se establecieron condiciones euhalinas e hipóxico-óxico, con 49.9 ± 16.9 ups y -290 mV para el periodo del 2009 al 2011. Por otra parte, las variaciones de los parámetros químicos en el agua intersticial fueron más altas en la zona de los bosques del borde (82.0 ± 5.8 ups. **Figura 17**), comparado con el resto de las localidades de este estudio. Asimismo, es relevante mencionar que la anomalía climática que se presentó en el 2009, generó el mayor efecto en esta localidad que en el resto de las localidades en estudio, incrementándose 11 ups la salinidad y disminuyendo -178 mV en el potencial redox del 2009 al 2010 (**Figura 18**). En el bosque interno se registró la mayor salinidad incrementándose de la orilla hacia el interior del bosque 26.2 ups y disminuyendo hasta condiciones hipóxicas (-292.6 ± 71.2 mV. **Figura 18**). La mayor afectación de la anomalía climática del 2009 en esta localidad es atribuida básicamente a los cambios hidrológicos y del nivel del suelo.

Peten Neyac: En específico el bosque de mangle borde, localizado en Peten Neyac, registró condiciones mesohalinas y óxicas del 2009 al 2011 (42.7 ± 11.9 ups y -195.7 ± 131.1 mV, respectivamente. **Figura 17 y 18**). Es por ello que el mayor índice de valor de importancia estuvo representado por *Rhizophora mangle*, con 262.6. Sin embargo, hacia el interior del bosque se establecieron condiciones euhalinas e hipóxicas (58.4 ± 6.1 ups y -311.3 ± 78.4 mV, correspondientemente. **Figura 17 y 18**), estas condiciones generan cambios en el índice de valor de importancia, con 179.9 para *R. mangle* y 66.9 en *Avicennia germinas* y 53.2 en *Laguncularia racemosa*. Por otra parte, la variación debido a la intensa sequía en el 2009 se estableció con mayor estrés para los manglares que bordean la línea de costa en la localidad de Peten Neyac, con 10 ups más en salinidad, y -161.0 mV menos en disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua intersticial (**Figura 17 y 18**).

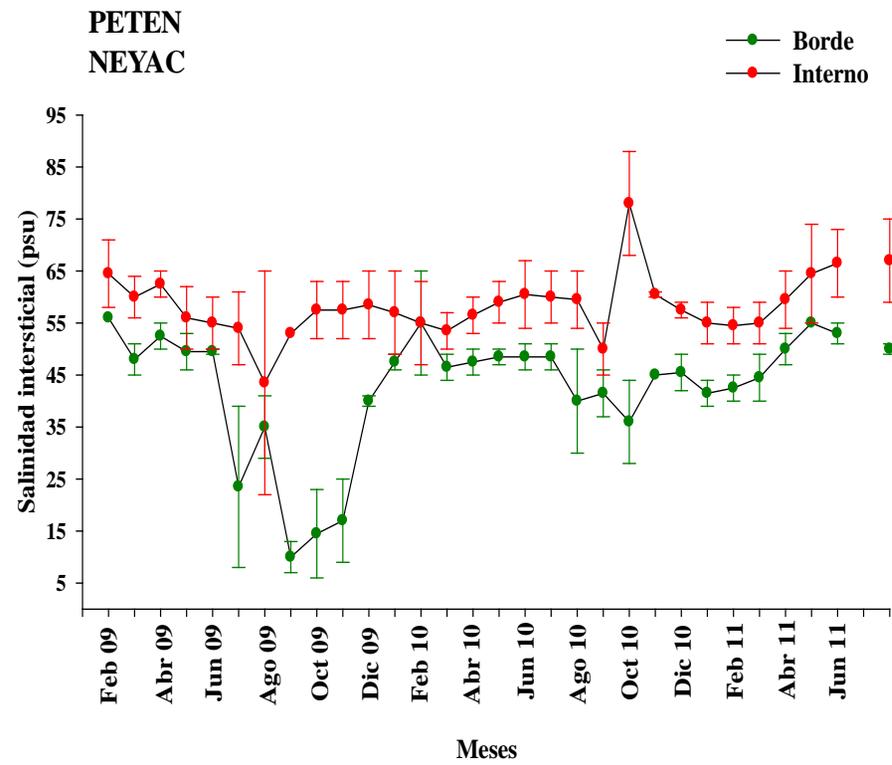
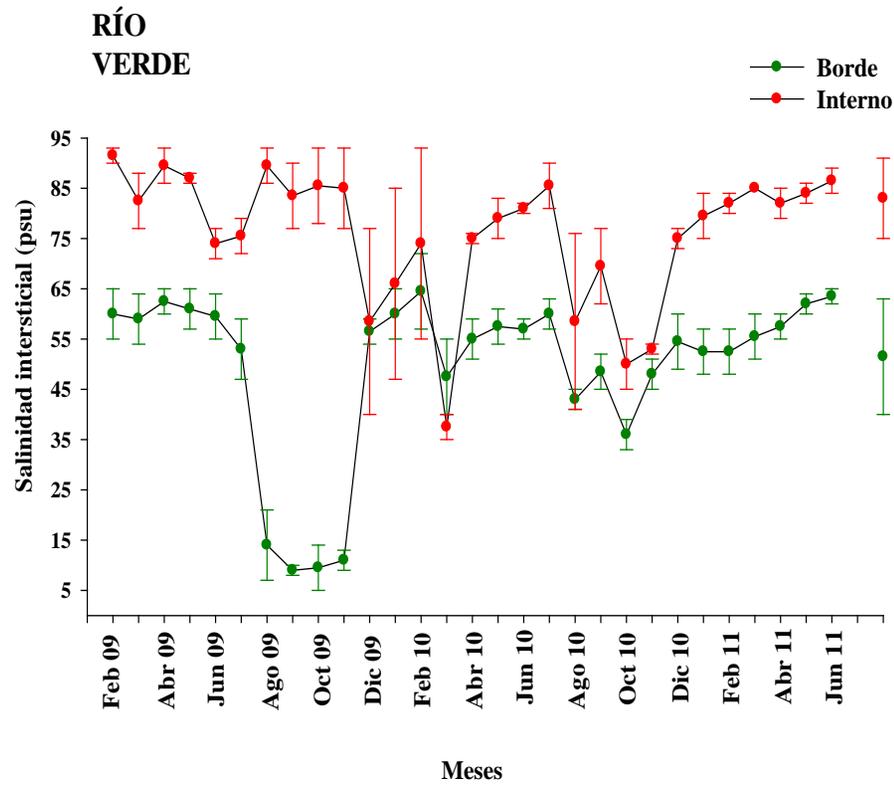


Figura 17. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro de La Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

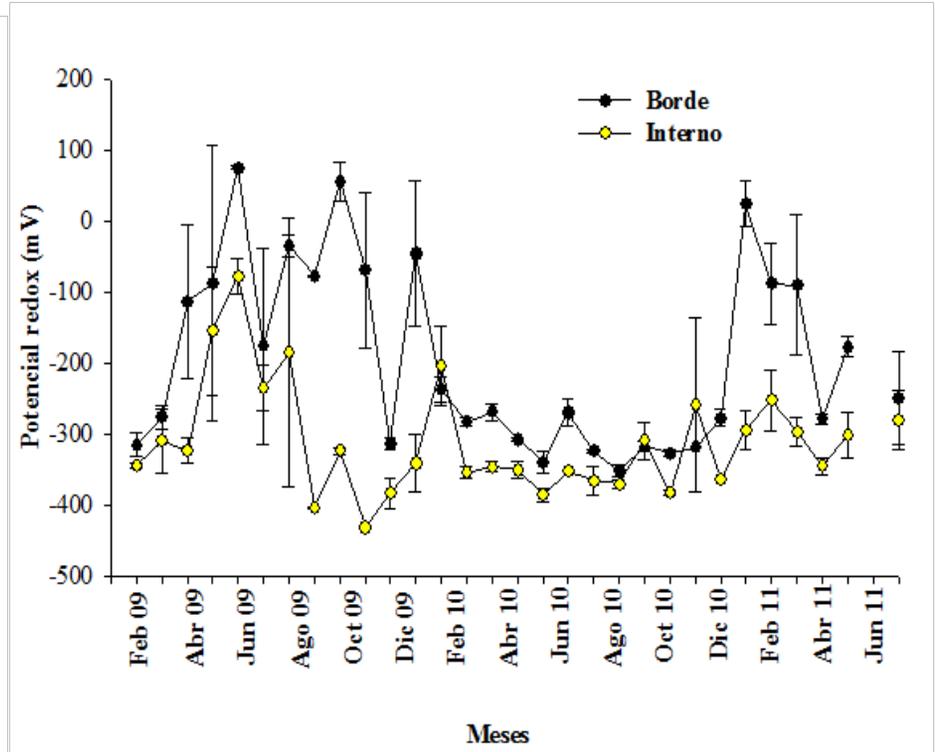
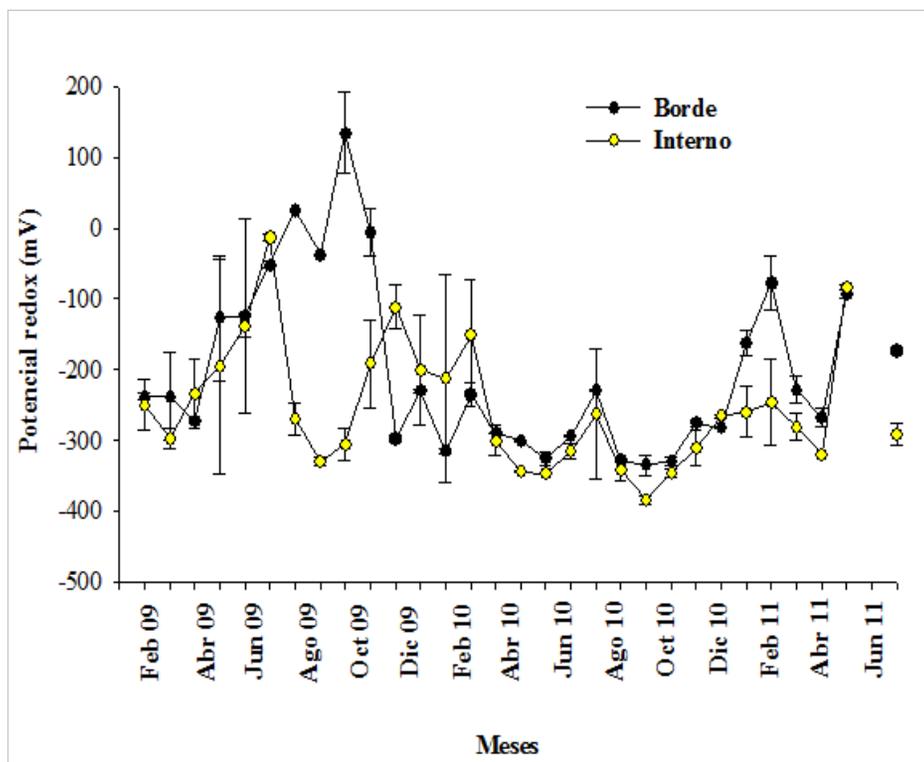


Figura 18. Variación mensual del potencial redox en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro de la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

En la Reserva de la Biósfera los Petenes, los valores de pH para los manglares de borde fluctuaron entre 6.4 y 7.1 durante el 2010 y 2011 en Río Verde y Peten Neyac, respectivamente; y, de 6.7 a 7.0 durante el 2009 y 2011 en Peten Neyac y Río Verde, respectivamente para el manglar interno. En general, aunque los intervalos de pH no presentaron significativas variaciones durante los tres años de estudio tanto para el manglar de borde como para el interno en las dos localidades en estudio, los valores fueron más altos para el manglar interno de Río Verde, con algunas excepciones para el año 2009 (de enero a septiembre. **Figura 19**).

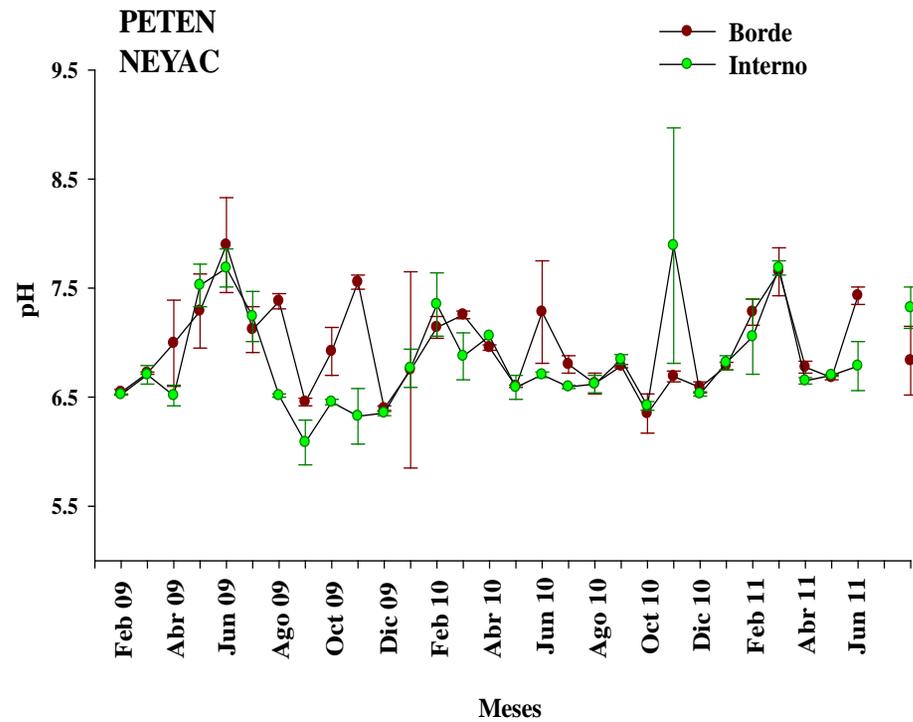
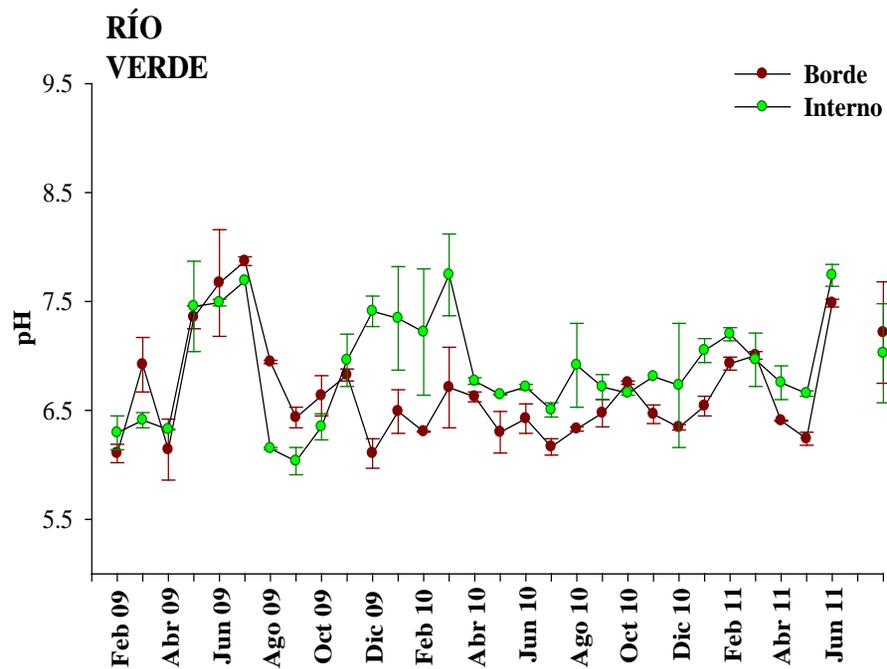


Figura 19. Variación mensual del pH en el agua intersticial por tipo de manglar (borde e interno) en las localidades en estudio dentro de La Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

Variación inter anual

Las variaciones inter anuales de los parámetros químicos del agua intersticial en las siete localidades en estudio, registraron mayor disponibilidad de oxígeno en el año 2009, como reflejo de las intensas lluvias del 2008. Las menores concentraciones de oxígeno disuelto en el agua intersticial y mayores salinidades se detectaron para el 2010, derivado de la gran sequía del 2009. En el 2011 durante la época de estiaje en general las localidades de Atasta y Sabancuy presentaron abatimiento en el oxígeno disuelto del agua intersticial. Estas condiciones de variación anual y por época del año fueron validadas con un ANOVA de 3 vías (**Tabla 5**). Agraz Hernández *et al.*, (2012) han registrado las variaciones climáticas inter anuales y por época del año desde el 2006 al 2010, esto con datos de la estación meteorológica de Isla Aguada, Campeche.

Las siete localidades presentaron diferencias significativas con respecto a la concentración de la salinidad del agua intersticial (**Tabla 5**). Esto derivado de los mayores afluentes de agua dulce que recibe la zona noroeste, que con respecto al sureste del Área natural protegida de flora y fauna laguna de Términos, menor afluente por el río Champotón y por la influencia marina (directa) en los bosques de mangle de la Reserva de la Biósfera los Petenes.

Por otra parte, las diferentes condiciones hidrológicas por localidad establecen diferencias en la concentración de oxígeno disuelto en el agua intersticial entre los sitios, por año y por épocas del año (**Tabla 5 y Figura 35**). Autores como Houghton *et al.*, (2001) mencionan que los modelos predictivos que se han realizado para el centro de América y Australia durante los meses de invierno, establecen que la precipitación puede disminuir en ciertas áreas, por efecto del cambio en el patrón de las precipitaciones como consecuencia del cambio climático.

Tabla 5. Prueba de ANOVA de 3 vías de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial durante el periodo 2009 -2011.

(B) Regeneración potencial

En general, la tasa de crecimiento de las plántulas de manglar en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, registraron tasas crecimiento de 0.02 ± 0.01 cm. días⁻¹ en el bosque borde como el interno; superiores al crecimiento de las plántulas monitoreadas en la Reserva de la Biósfera los Petenes. Estas diferencias se atribuyen al aporte constante de los nutrientes terrigénicos provenientes de los ríos Palizada, Chumpan y Candelaria, principalmente durante la temporada de lluvia. Autores como Agraz Hernández (1999) y Pulver (1976) registraron similares tasas de crecimiento; con 0.02 cm.día⁻¹ en plántulas de *Avicennia germinans* en un bosque monoespecífico, con fisonomía borde y 0.04 cm.día⁻¹ en plántulas de *Rhizophora mangle* replantadas y podadas en la Bahía de Florida, respectivamente.

En el caso de las plántulas de la Reserva de la Biósfera los Petenes, presentaron 0.005 ± 0.003 cm día⁻¹ y 0.01 ± 0.003 cm día⁻¹ en la franja de la orilla y en el bosque posterior a este, respectivamente. Agraz Hernández (1999) menciona tasas de crecimiento similares a las encontradas en todas las localidades en estudio, tanto para plántulas de *A. germinans* (0.018 cm día⁻¹); como para *R. mangle* (0.003 cm días⁻¹), en dos bosques monoespecíficos ubicados en el Estero de Urías, Sinaloa. Así mismo, Lewis (1980) determinó tasas de crecimiento afines a las de este estudio, en plántulas de *R. mangle* en la Bahía de Florida de 0.009 cm día⁻¹.

En el caso de las parcelas con juveniles, se observa una disminución en la tasa de crecimiento hacia el sur, desde 0.09 hasta 0.026 cm.día⁻¹ (de la Reserva de la Biósfera los Petenes al Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos), atribuyéndose al mayor desarrollo en los atributos forestales de los bosques de mangle en las localidades en estudio (**Tabla 6**). Ya que a mayor desarrollo de los árboles, mayor follaje, menor penetración de la luz y que los manglares requieren de diferentes intensidades de luz y sombra, dependiendo de la etapa de su vida (plántulas, juveniles, arbustos y adultos. Saenger, 1982). Es por ello que la mortalidad de las plántulas se incrementa hacia el sur del estado (**Tabla 6**); con intervalos de 0 a 5% para la Reserva de la Biósfera los Petenes (el 20% está referido al impacto generado por la carretera sobre la regeneración natural en los bosques internos) y 10 a 40% para el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos.

Tabla 6. Tasas de crecimiento de plántulas y juveniles de manglar en las diferentes localidades en estudio en el estado de Campeche durante tres periodos anuales.

LOCALIDAD	TIPO	PLANTULAS				JUVENILES			
	FISONÓMICO	Tasa de crecimiento (cm*dfa)	R ²	P	Mortalidad (%)	Tasa de crecimiento (cm*dfa)	R ²	P	Mortalidad (%)
Peten Neyac. Reserva de la Biósfera "Los Petenes". Campeche.	B	0.006	0.90	0.001	10	0.009	0.96	0.001	1
	C	0.005	0.87	0.001	30	0.013	0.96	0.000	20
Río Verde. Reserva de la Biósfera "Los Petenes". Campeche.	B	0.005	0.99	0.000	40	0.019	0.95	0.000	0
	M	0.005	0.98	0.000	40	0.008	0.95	0.000	5
Sabancuy. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Campeche.	R-B	0.010	0.95	0.000	15	0.004	0.84	0.000	0
	R-B	0.008	0.96	0.000	10	0.020	0.94	0.000	2
Xibuja. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Campeche.	R-B	0.007	0.64	0.001	80	0.009	0.86	0.000	10
	R-B	0.008	0.82	0.000	90	0.011	0.92	0.000	40
Estero Pargo. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Campeche.	R-B	0.008	0.98	0.000	30	0.013	0.38	0.001	3
	R-B	0.012	0.96	0.000	40	0.024	0.97	0.000	15
Atasta. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Campeche.	R	0.013	0.99	0.001	60	0.026	0.98	0.000	10
Champotón, Campeche.	B	0.011	0.92	0.000	75	0.020	0.82	0.000	10
	C	0.022	0.74	0.001	55	0.020	0.82	0.000	5

(C) Productividad en términos de hojarasca

La determinación de producción de hojarasca, indica de manera indirecta el aporte de la biomasa vegetal que se integra a la fuente de nutrientes para diversos organismos que habitan en los manglares y ecosistemas adyacentes. Pese a que los manglares son plantas que defolian sus hojas durante todo el año, tienden a incrementar la caída de hojarasca en alguna época del año (Flores-Verdugo, 1985, Day *et al.*, 1996 y López-Portillo y Ezcurra, 2002). Asimismo, las diferentes especies y tipos fisonómicos producen diferente biomasa vegetal, tal como fue observado en este estudio.

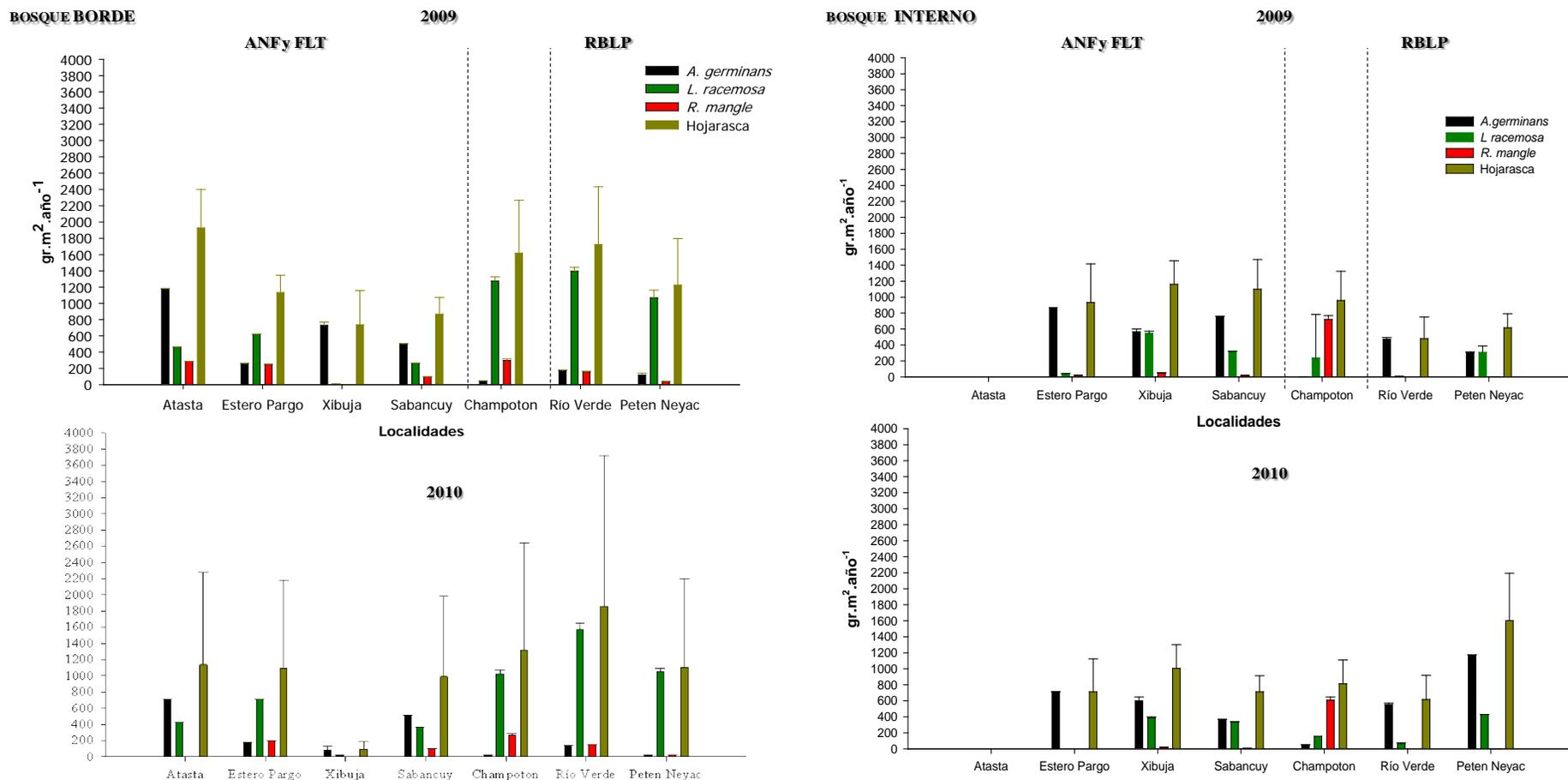


Figura 20. Producción de hojarasca por localidad, tipo de bosque y especie de manglar ubicados en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos y Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

La máxima producción de hojarasca para el 2009, se registró en los sitios con aporte de agua dulce proveniente de los ríos o aportes de agua superficial importante; con un promedio de 19.3, 16.2 y 17.2 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ en Atasta, río Champotón y río Verde, respectivamente. Las menores producciones de hojarasca se detectaron para Sabancuy y Xibuja al recibir agua dulce subterránea o laminar; con 8.7 y 7.4 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, correspondientemente. La mayor productividad en términos de hojarasca en la Reserva de la Biósfera los Petenes y Champotón, fue aportada por *Rhizophora mangle* y para el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, *Avicennia germinans* (**Figura 20**). Autores como Day *et al.*, (1987); Coronado-Molina (2000) detectaron 10.3 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ para la laguna de Términos, Campeche. En el caso de los ecosistemas de manglar de la Reserva de la Biósfera los Petenes, Gaona-Pineda (2006) reportó similar producción de hojarasca para Río Verde, con 12.7 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, siendo *R. mangle* la especie con mayor aporte (72 % del total).

Por otra parte, es relevante mencionar que debido a las variaciones estacional y disminución de la precipitación (del 35.8%), detectada durante el 2008 al 2010 en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos (**Figura 35**) y sustentadas con los resultados obtenidos por Agraz Hernández *et al.*, (2012); se incrementó la salinidad y disminuyó la concentración del oxígeno disuelto (**Figura 21**); registrándose el mayor estrés en los manglares de sur a norte, con pérdidas en la producción de la hojarasca del 2009 al 2010 de 29.0% (8.3 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, 18.3% (13.2 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) para Champotón y 0.47% (14.8 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) en la Reserva de la Biósfera los Petenes (**Figura 21**). Esto derivado del grado de tolerancia (fenotipos) que han establecido los manglares en específico, al establecerse diferentes condiciones ambientales entre las localidades en estudio. Agraz Hernández *et al.*, (2012) registraron al norte de la laguna de Términos, en un bosque monoespecífico de *R. mangle*, una inversa correlación entre la precipitación con respecto a la salinidad y al valor del potencial redox del agua intersticial; y directa correlacionado entre la precipitación con la producción de la hojarasca y propágulos. Diversos autores indican que la variación anual de la hojarasca en el año, depende de los cambios ambientales o bien del grado de tensión natural o artificial a la cual está sujeto cada bosque y cada franja (Golley *et al.*, 1962; Hernández y Muller 1971; Flores Verdugo 1985; Amarasinghe y Balas 1992; Dugan 1992; Day *et al.*, 1996).

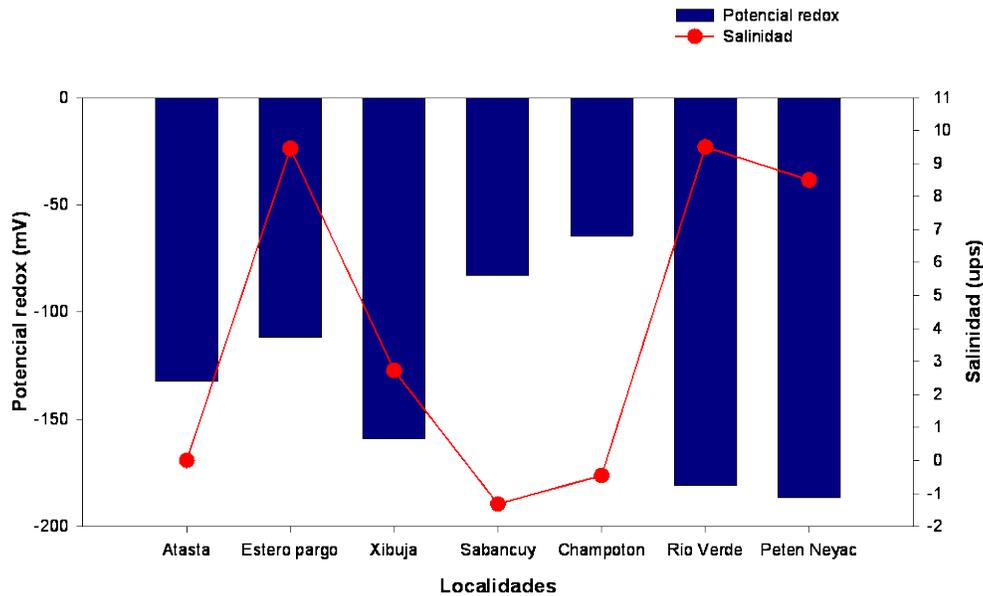


Figura 21. Cambios en la concentración de la salinidad y valores del potencial redox del agua intersticial entre los años 2009 y 2010, en los bosques de mangle del borde en las siete localidades en estudio. * *Salinidad positiva describe incremento y en el potencial redox con valores negativos refiere pérdida de oxígeno.*

Con respecto a los bosques internos de las localidades en estudio, estos presentaron el mismo comportamiento, con respecto a la producción máxima de la hojarasca y las especies más productivas que los bosques del borde en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos; pero con menor cantidad de hojarasca. Esto definido por el patrón anual de los parámetros químicos del agua intersticial descritos con anterioridad (**Figuras del 11 al 20**).

Es relevante mencionar que los bosques internos ubicados en la Reserva de la Biósfera los Petenes, registraron mayor defoliación de la hojarasca en el 2010 (**Figura 20**), para administrar los árboles la energía y poder sobrevivir; al incrementar la salinidad y disminuir la disponibilidad del oxígeno disuelto en el agua intersticial, a través de la “defoliación” (**Figura 21**).

Ante lo expuesto, y al aplicar un análisis de varianza (ANOVA de dos vías) con la producción de los componentes de la hojarasca, entre las diferentes localidades, tipos fisonómicos y especies de estudio; se mostraron diferencias significativas entre la caída de

hojas, flores y propágulos (en conjunto) e incluso entre la producción de la hojarasca inter anual (**Tabla 7. Figura 20**).

Tabla 7. ANOVA de dos vías (factor 1: 7 sitios de muestreo, Factor 2: Año 2009, 2010 y 2011) en la productividad de hojarasca a través de sus diferentes componentes ($\alpha=0.05$).

Al respecto, Mitsch and Gosselink (2000) y Travieso-Bello *et al.* (2005) mencionan que un cambio mínimo en el patrón hidrológico puede generar cambios en la biota, esto en términos de composición y riqueza de las especies; tal como la producción de la hojarasca.

Fuentes	Grados de libertad	F	Valor P	F	Valor P	F	Valor P	F	Valor P
Componentes		Hojas		Flores		Propágulos		Hojarasca total	
Localidad	6	5.14	0.001	4.36	0.001	2.47	0.025	3.21	0.005
Año	2	4.80	0.001	3.34	0.037	3.55	0.030	1.47	0.231
Interacciones (localidad*año)	12	1.70	0.060	1.18	0.294	0.84	0.600	0.83	0.622
Error	344								
Total	364								

Debido a que el hidroperiodo es un multifactor complejo, que su cambio, simultáneamente, establece severas modificaciones en la concentración de la salinidad y la composición de los nutrientes en el agua intersticial, la composición en la riqueza de las especies y la productividad primaria de las especies (Flores Verdugo *et al.*, 2010 y Agraz Hernández *et al.*, 2012).

Por otra parte, e independientemente de la localidad y el año en estudio, los aportes máximos de hojarasca para las tres especies registradas, corresponden a los meses de mayo a octubre; coincidiendo ello con la época de lluvias. La producción de hojarasca del 2011 fue similar a la producción del 2010 durante la época de estiaje.

En general los bosques de mangle de las siete localidades son definidos con base a la producción de las hojas; como “jóvenes”, pues ésta superó el 60% del resto de los componentes de la hojarasca (**Figuras del 22 al 30**). Este aporte coincide con el patrón de productividad observado por Cintrón y Shaeffer-Novelli (1983), López-Portillo y Ezcurra (1985), Lacerda *et al.*, (2001) y Aké-Castillo *et al.*, (2006).

Con respecto a la reproducción, se pudo observar que la especie de *A. germinans*, en general, florece entre abril y agosto y, produce frutos entre agosto y octubre. Las flores y propágulos de *R. mangle* se producen durante todo el año. Sin embargo, los máximos aportes de las flores ocurren durante mayo a octubre; mientras que los propágulos de junio a noviembre. *Laguncularia racemosa* florece en general, de abril a agosto y produce propágulos de mayo a noviembre. Autores como Jiménez (1994) y Agraz Hernández (1999) reportan que los picos de producción de propágulos se efectúan durante la época de verano en los meses de agosto a octubre en las especies de Norteamérica. Esta estacionalidad es inducida por los parámetros medio ambientales y a las características particulares de cada especie, tales como; el periodo de producción de frutos y flores, la duración de vida de las hojas y el tiempo de desarrollo de la flor hasta ser un propágulo.

El periodo de florecimiento para *A. germinans* y *L. racemosa* en este estudio, se registró una vez por año; similar a lo observado por Rico-Grey y Lot-Helgueras (1983) en un ecosistema de manglar de La Mancha, Veracruz. Puesto que este patrón, está estrechamente relacionado con el término de la época de estiaje; y, la producción de propágulos, al punto máximo de la temporada de lluvias. Esto como una estrategia para asegurar el establecimiento de las plántulas; ya que las condiciones ambientales son más favorables para su sobrevivencia (Jiménez, 1990 y Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2004). Bunt *et al.*, (1982) por su parte, han registrado un buen desarrollo en los atributos forestales y reproducción óptima de las diferentes especies de mangle, en sitios con gran aporte de agua dulce. Así mismo, el período de producción de flores y frutos de *R. mangle* obtenido en este estudio, coincide con lo expuesto por Rico-Gray y Lot-Helgueras (1983), López-Portillo y Ezcurra (1985), Barreiro-Güemes (1999) y Agraz Hernández *et al.* (2011) quienes mencionan que esta especie se reproduce durante todo el año, presentando una marcada estacionalidad durante la época de lluvias y disminuye su aporte durante los meses correspondientes a la época de estiaje.

Los resultados de productividad a través de la hojarasca y sus diferentes componentes por especie de mangle (*A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa*) y por región en estudio (Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Champotón y Reserva de la Biósfera Los Petenes) durante el año 2009, 2010 y parte de 2011 se presentan a continuación:

Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos

Avicennia germinans

La producción de hojas en *A. germinans* se registró de agosto a octubre en el 2009 y 2010; tanto en el bosque del borde como el interior, en todas las localidades ubicadas en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos (**Figura 22**). Así mismo, el mayor aporte de hojas de esta especie fue registrada en Atasta, Xibuja y en el bosque interno de Estero Pargo, coincidiendo con la especie que presentó el mayor índice de valor de importancia. La producción de flores inicia en abril y terminó en agosto. La producción de los propágulos se registró de agosto a noviembre. Esto debido a la disminución de la salinidad e incremento del oxígeno disuelto en el agua intersticial, menor tiempo de residencia del agua. Esto como una estrategia de sobrevivencia, ya que esta especie se distribuye en sitios bajo condiciones más estresantes que el resto de las especies de mangle. En el caso del aporte de ramas como de misceláneos se presentó anualmente y con picos máximos durante la época de lluvias (**Figura 22**). Lichtenthaler (1996) indica que los gradientes de salinidad son factores que regulan los procesos fisiológicos en los manglares y establecen que en las zonas donde se encuentran manglares con alta concentración de salinidad, presentan estrés fisiológico y, por ende, reducción en la asimilación del dióxido de carbono, en la conductancia estomática y las tasas de crecimiento.

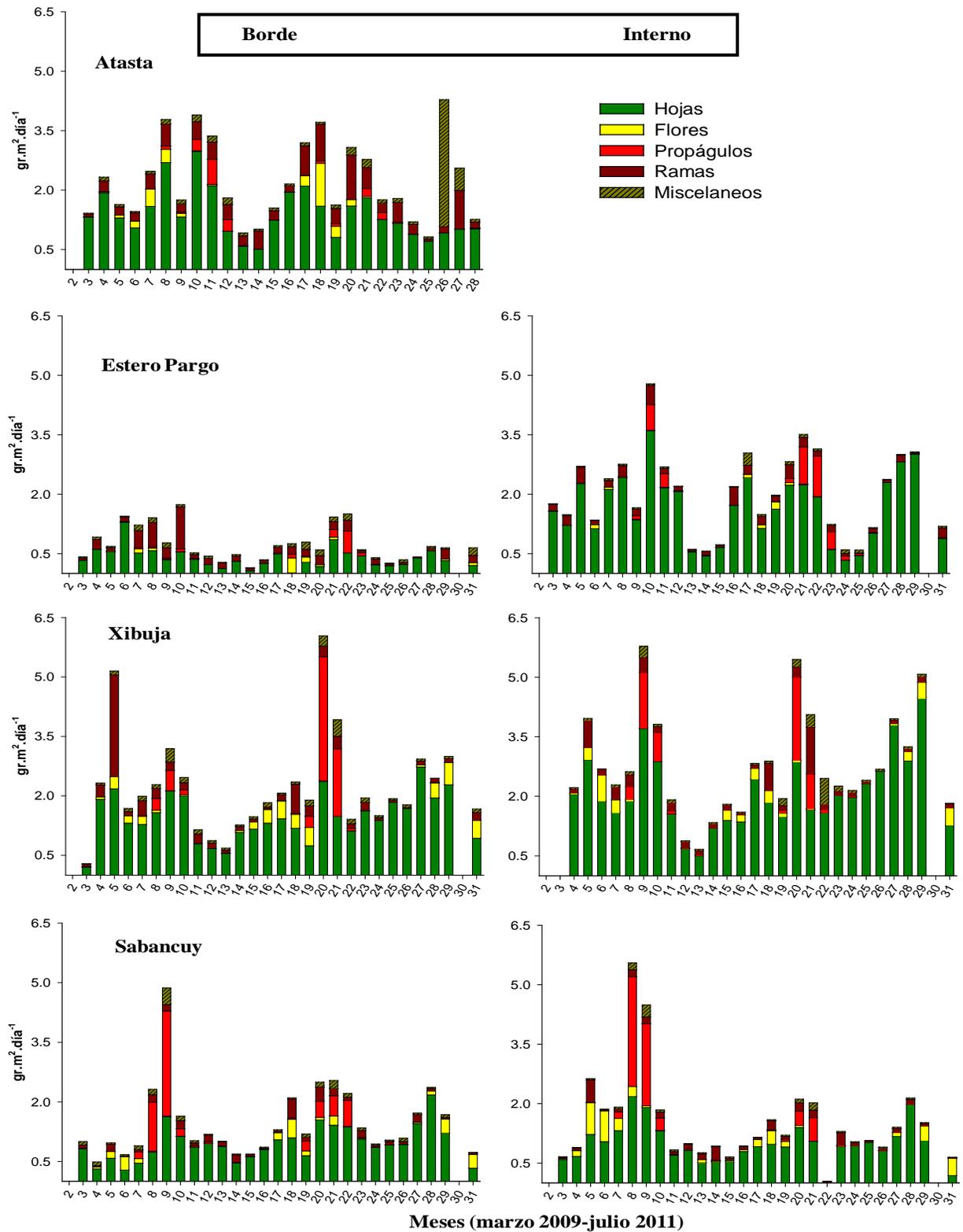


Figura 22. Producción de la hojarasca de *Avicennia germinans*, por componente en siete localidades ubicadas en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche. La numeración corresponde a los meses, iniciando con marzo de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Río Champotón

Avicennia germinans

Como puede apreciarse en la **figura 23**, la producción de hojas, flores y propágulos de *Avicennia germinans* en el mangle de borde e interno de Champotón fue baja en comparación con el resto de las localidades en estudio (en el área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos y Reserva de la Biósfera Los Petenes). Lo anterior se debe a que *R. mangle* fue la especie con mayor índice de valor de importancia (225.78) en el bosque del borde y *Laguncularia racemosa* (239.56) para el bosque interno.

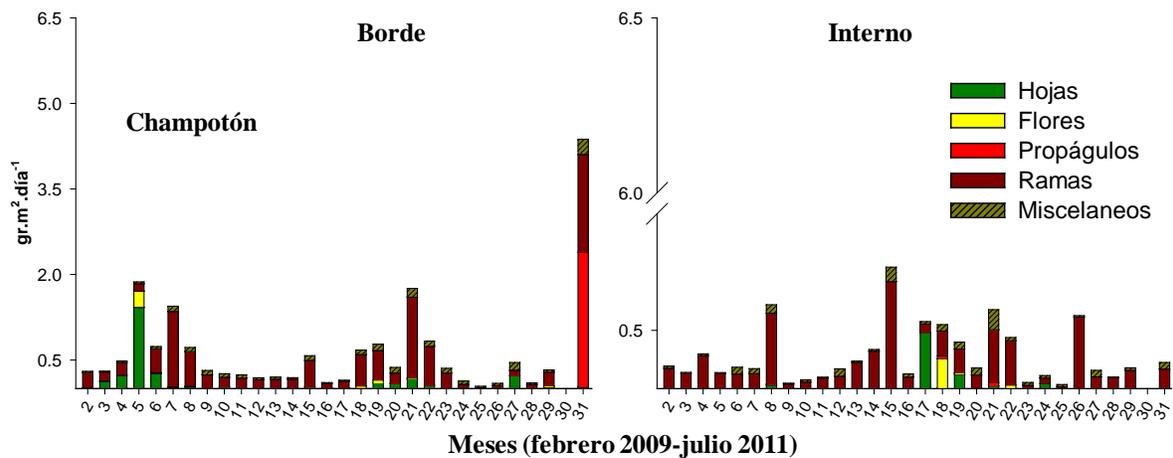


Figura 23. Producción de la hojarasca de *Avicennia germinans*, por componente en la localidad ubicadas en el río Champotón, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Reserva de la Biósfera Los Petenes

Avicennia germinans

En general, el mayor aporte de hojarasca de *A. germinans* en las localidades de río Verde y Peten Neyac fue registrada en los bosques de mangle internos. Los picos de caída de hojas se detectaron entre mayo y septiembre. Las flores caen entre mayo y agosto y los propágulos de agosto a octubre. Sin embargo, es importante mencionar que en el bosque interno de río Verde, la producción de propágulos se prolongó de septiembre del 2010 a enero del 2011. El aporte de ramas fue registrado durante todo el año, con incrementos en la época de lluvias; en el caso de los misceláneos se observa su aporte durante la época de lluvias (Figura 24).

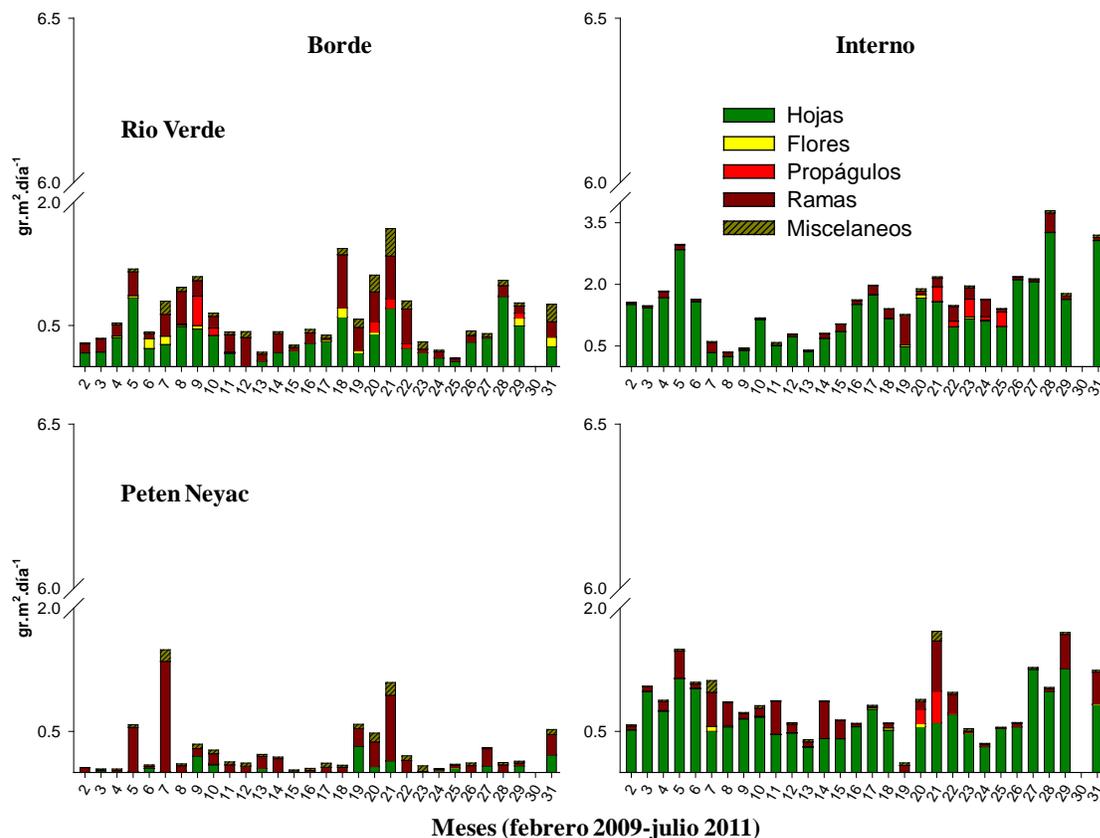


Figura 24. Producción de la hojarasca de *Avicennia germinans*, por componente en dos localidades ubicadas en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con marzo de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Rhizophora mangle

Con excepción de la localidad de Sabancuy, el aporte de hojarasca de *R. mangle* en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, fue menor en los bosques del borde, debido a la baja densidad de esta especie en el bosque. En general, en las cuatro localidades de la laguna de Términos, la caída de hojas se produjo durante todo el año, pero con mayores aportes durante los meses de mayo a octubre. Las flores caen durante todo el año, con máximos aportes de julio a octubre y los propágulos de junio a octubre. Tovilla (1991) y Jiménez (1974) indican que *R. mangle* se reproduce durante todo el año, con picos máximos durante la época de lluvias. Por su parte, Agraz Hernández *et al.* (2011) registraron similar comportamiento para laguna de la Mancha, Veracruz.

Así mismo, la caída de estípulas fue registrada durante todo el año, con un pico máximo durante la época de lluvias (de mayo a octubre. **Figura 25**).

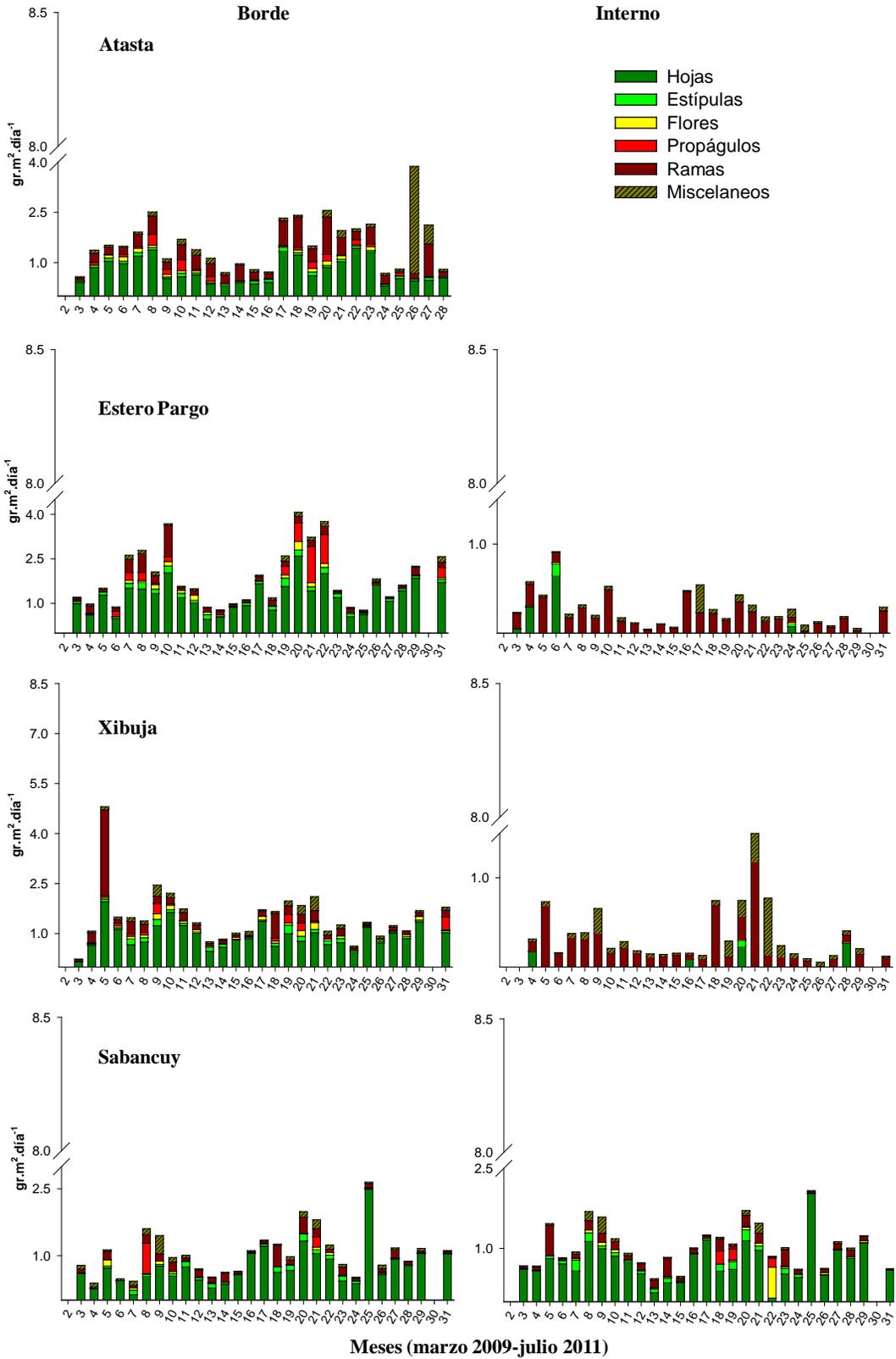


Figura 25. Producción de la hojarasca de *Rhizophora mangle*, por componente en las siete localidades ubicadas en el Área Natural de Flora y Fauna de Laguna de Términos, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con marzo de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Río Champotón

Rhizophora mangle

La mayor producción de hojarasca en sus diferentes componentes de *R. mangle* en la localidad de río Champotón, ocurrió en el manglar de borde; registrándose los mayores aportes entre mayo y noviembre. Aunque las hojas caen durante todo el año, se observa mayor aporte de mayo a octubre. En el manglar de borde, las flores caen de enero a octubre; mientras que, los propágulos de marzo a diciembre. El aporte de flores y frutos para el mangle interno fue mínimo durante los tres años registrados; observándose aporte de flores en agosto de 2009 y noviembre de 2010; en el caso de los frutos, la caída ocurrió en marzo y agosto de 2009 y en octubre de 2010. En relación a las estípulas, ramas y misceláneos, estos caen durante todo el año con mayores aportes durante la época de lluvias (de mayo a octubre. **Figura 26**).

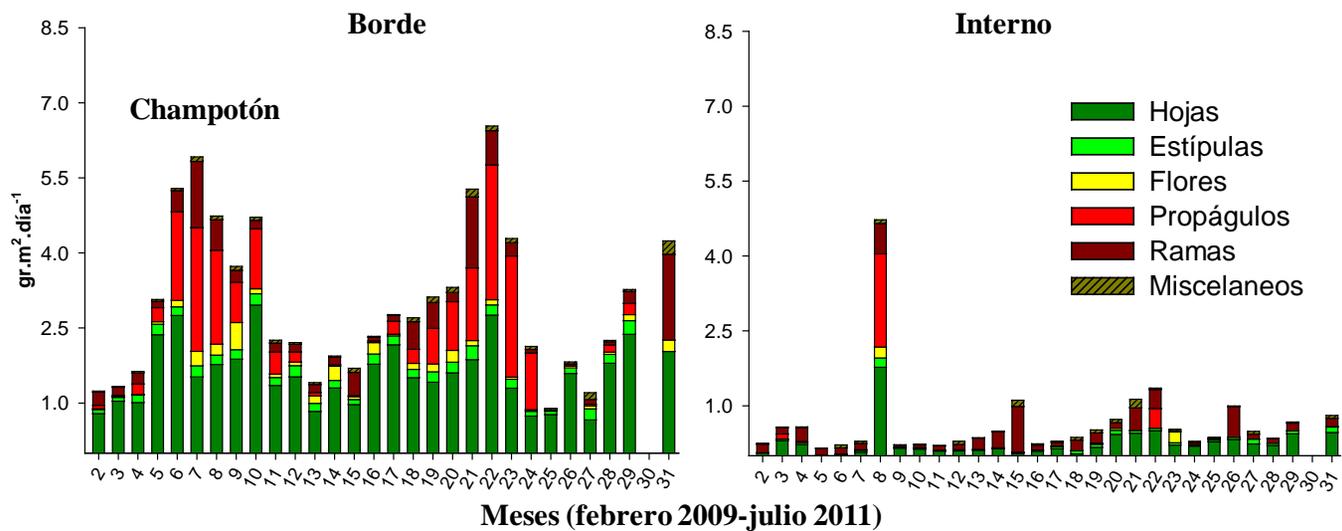


Figura 26. Producción de la hojarasca de *Rhizophora mangle*, por componente en la localidad de Champotón, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Reserva de la Biósfera los Petenes

Rhizophora mangle

Las dos localidades en estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, presentaron mayor aporte de hojarasca de *R. mangle* en los manglares de borde; coincidiendo ello con la mayor densidad de árboles de esta especie. Así mismo, se observó mayor aporte de hojarasca durante el 2010 que durante el 2009. Las hojas caen durante todo el año, y el aporte tiende a incrementarse entre los meses de mayo y noviembre. En el manglar de borde de ambas localidades, el aporte de propágulos se presenta durante todo el año; incrementándose durante la época de lluvias (de mayo a octubre). De la misma manera ocurre con el aporte de flores, estípulas, ramas y misceláneos, los cuales caen durante todo el año pero con máximos aportes durante la época de lluvias (**Figura 27**).

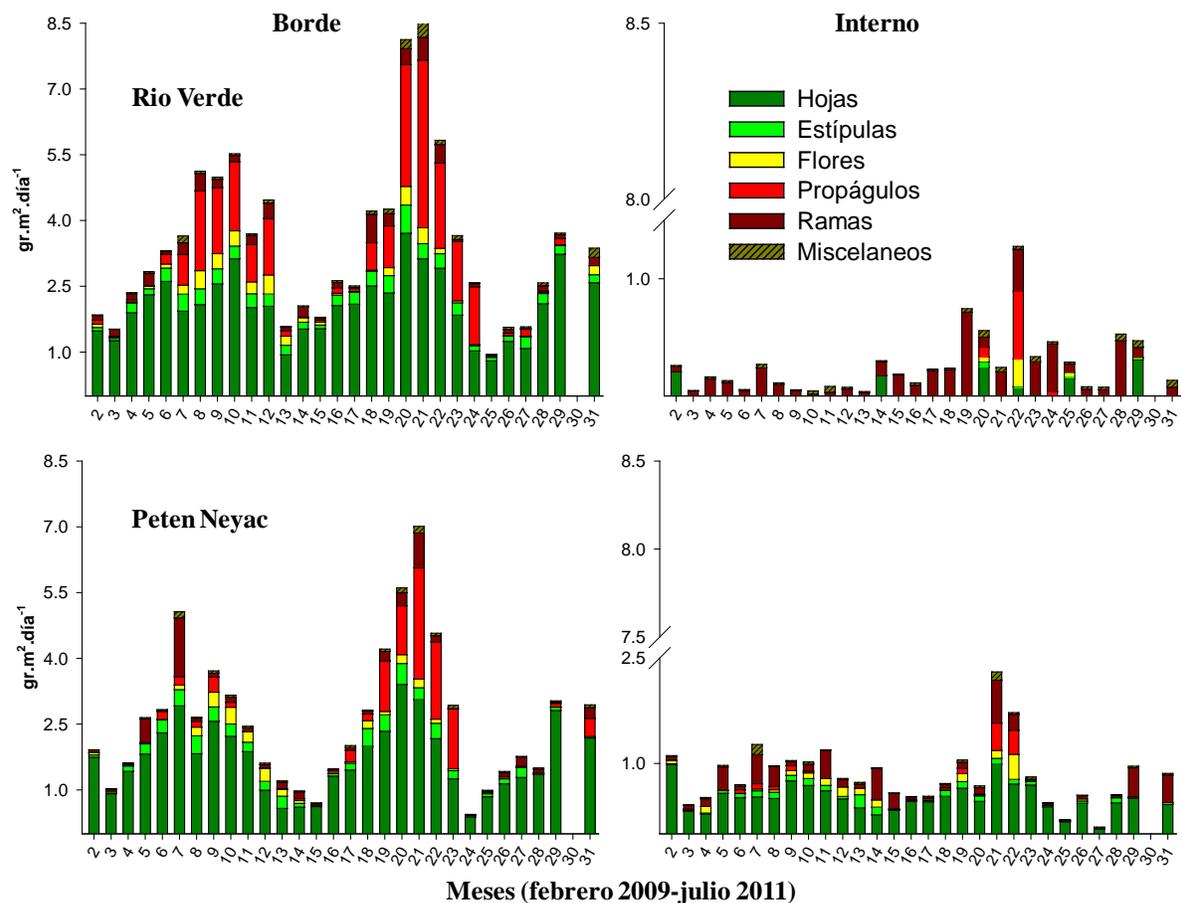


Figura 27. Producción de la hojarasca de *Rhizophora mangle*, por componente en las dos localidades en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche. La numeración

corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos

Laguncularia racemosa

El mayor aporte de hojarasca de *L. racemosa* en las cuatro localidades establecidas dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, fue registrado en el bosque de mangle de borde; e incluso, la caída de hojarasca (específicamente hojas) para los bosques internos solo es reportada, en baja proporción, para Estero Pargo y Sabancuy, esto debido a la baja densidad de arboles. Las hojas de *L. racemosa* en las cuatro localidades establecidas dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos caen durante todo el año; sin embargo, el mayor aporte ocurre entre mayo y octubre (época de lluvias). La caída de flores durante los tres años de monitoreo es mínima para esta especie; observándose su aporte durante julio y agosto de 2009 en Estero Pargo y abril de 2011 en Xibuja. Así mismo, la caída de propágulos sólo fue registrada en Estero pargo entre los meses de septiembre a noviembre de 2010 (mangle de borde) y en Sabancuy en octubre y noviembre de 2009 (mangle de borde e interno). En el caso de las ramas y misceláneos, estos caen durante todo el año, con máximos aportes en la época de lluvia (**Figura 28**).

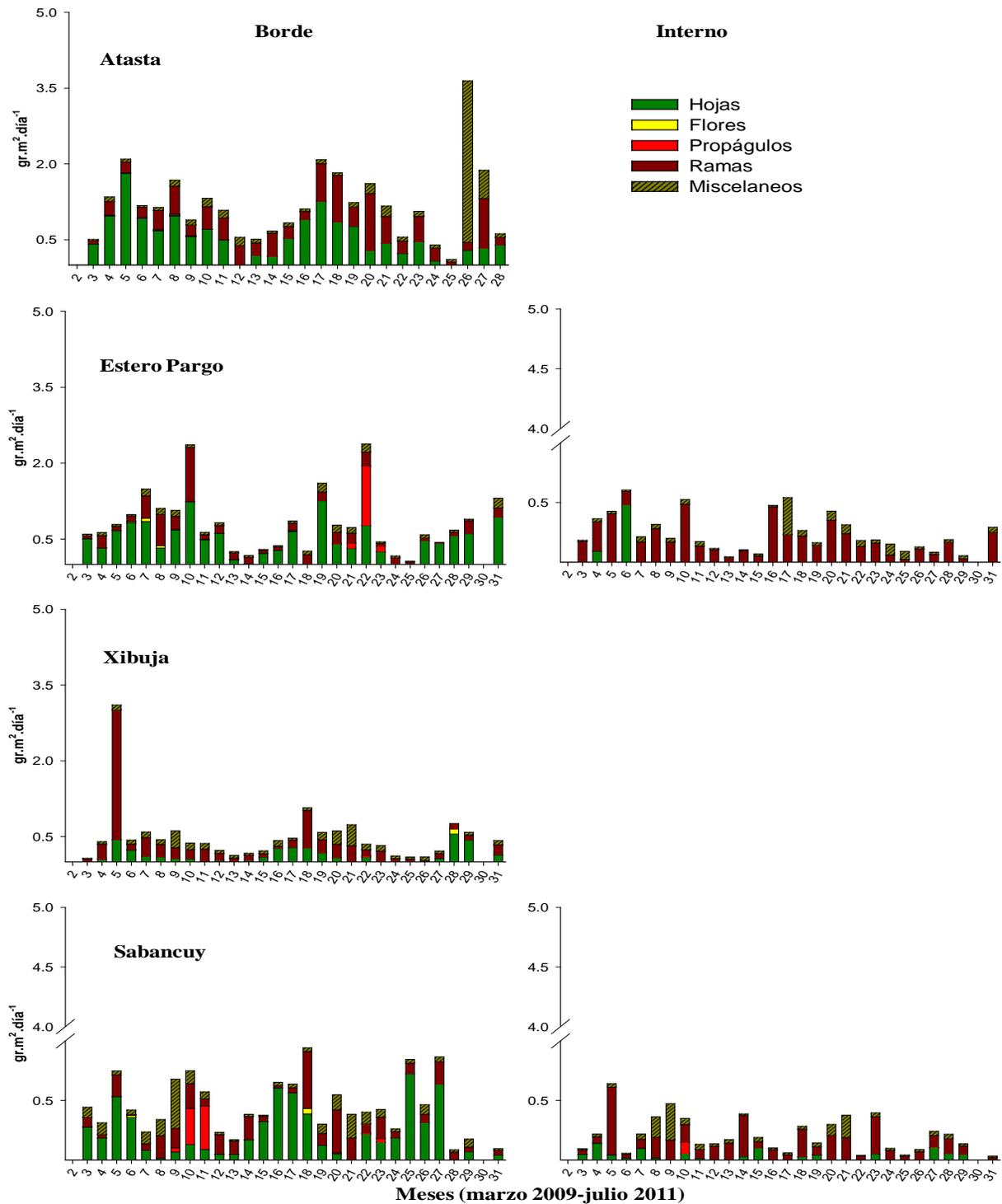


Figura 28. Producción de la hojarasca de *Laguncularia racemosa*, por componente en las siete localidades del Área Natural Protegida de laguna de Términos, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Chamotón

Laguncularia racemosa

La productividad evaluada a través de la hojarasca para *L. racemosa* en la localidad de Champotón, fue superior (principalmente para el mangle interno) en comparación con las seis localidades en estudio del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos y la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche. Ya que la densidad de árboles de *L. racemosa* en Champotón es mayor que en el resto de las localidades. En relación a la caída e hojas, se observan en general para los tres años de estudio, los mayores aportes de mayo a julio. Aunque no hay una homogeneidad en la caída de flores durante los tres años en ambos bosques (borde e interno) se establece un patrón general de abril hasta octubre; y, para los propágulos entre mayo y noviembre. Las ramas y misceláneos caen durante todo el año; aunque la caída de las ramas se incrementa durante la época de lluvias.

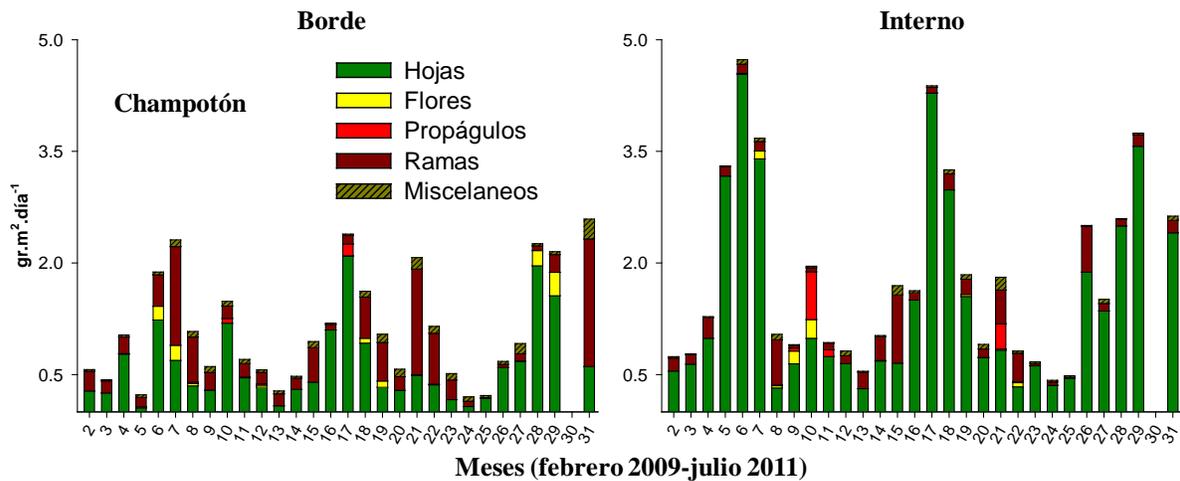


Figura 29. Producción de la hojarasca de *Laguncularia racemosa*, por componente en la localidad de Champotón, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

Reserva de la Biósfera los Petenes

Laguncularia racemosa

En las localidades de monitoreo dentro de la Reserva de la Biósfera los Petenes, los individuos de *L. racemosa* se detectaron en baja densidad en el bosque del borde. De tal manera que la producción de la hojarasca; por lo cual aporta esta especie poca biomasa. La mayor producción de hojas sucedió entre mayo y agosto. La caída de flores sólo se observó entre junio y agosto del 2009 y en junio y octubre de 2010 en la localidad de Río Verde. Los propágulos caen en octubre y noviembre; mientras que las ramas y misceláneos, durante todo el año.

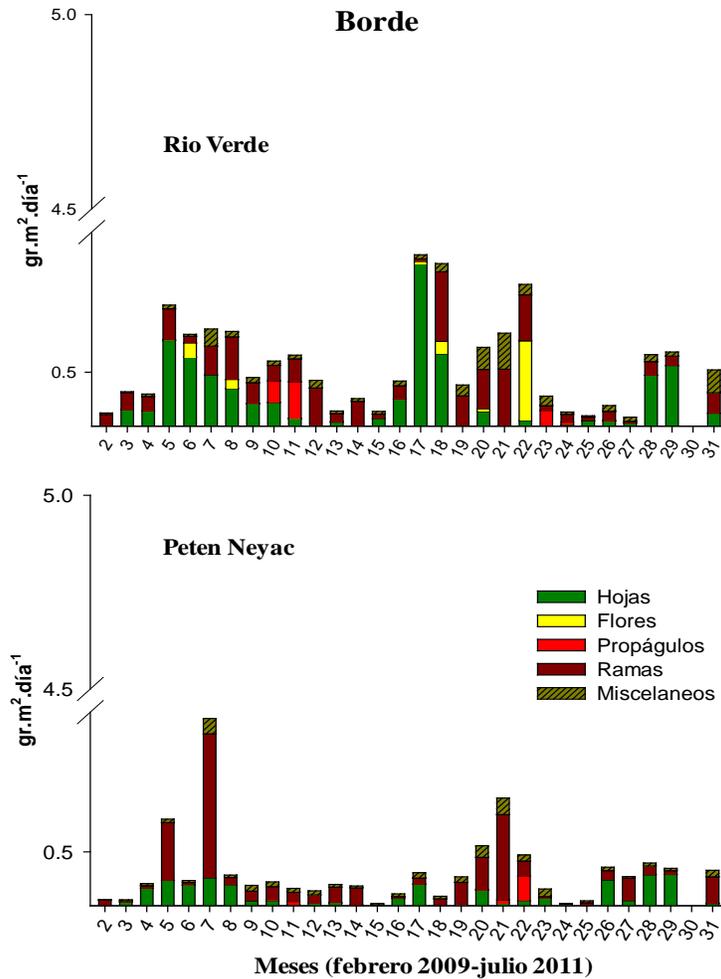


Figura 30. Producción de la hojarasca de *Laguncularia racemosa*, por componente en las dos localidades en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche. La numeración corresponde a meses, iniciando con febrero de 2009 (No. 2) y finalizado con julio del 2011 (No. 31).

(D) Incremento diametral

La determinación de la tasa de crecimiento en los manglares ha sido poco estudiada. La información existente se basa en el manejo de los manglares con fines de planificación y uso sustentable a través de prácticas de aprovechamiento forestal. Ulloa Delgado *et al.*, (1998) mencionan que el conocimiento de la dinámica de crecimiento es de vital importancia para la definición de esquemas de manejo silvícola, conduciendo a un uso sostenible de los bosques de manglar y permitiendo su conservación.

Diversos autores han determinado el crecimiento de árboles de *Rhizophora apicula*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *A. officinalis* tanto en el medio natural como trasplantados, los cuales se han llevado a cabo en diferentes zonas geográficas como Tailandia, Bangladesh, Vietnam, Malasia, Puerto Rico y Colombia.

Los mayores incrementos diametrales (arriba y abajo) durante el periodo del 2009 al 2011 se registraron en los bosques de mangle de las localidades Atasta, Estero Pargo y Xibuja (**Tabla 8**) en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Los menores incrementos se presentaron en Sabancuy (por la mayor concentración de salinidad y posteriormente en las dos localidades de la Reserva de la Biósfera los Petenes (**Tabla 8**). Los mayores crecimiento están correlacionados principalmente con el tipo de sustrato, calidad del agua, hidrología, intensidad de luz que llega al suelo (Guevara Mancera, 1998), aporte fluviales, gradientes topográficos, disponibilidad de los nutrientes, concentraciones de sal en el agua intersticial, entre otros.

En general las tasas de crecimiento diametral de los bosques de mangle localizados en la Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos fueron similares a los detectados por S.A.F (1995) y Guevara-Mancera (1988). En el caso de la Reserva de la Biósfera los Petenes, en general los incrementos diametrales fueron similares a los registrados por Aksornkoae (1997) en árboles de *R. apiculata* ubicados en Tailandia (**Tabla 8**). En específico los incrementos diametral para la localidad de Río Verde de este estudio, fueron similares a los registrados por Gaona Pineda (2006) durante el periodo del 2002 al 2003 en un bosque monoespecífico de *R. mangle* (**Tabla 8**).

Por otra parte, y a través de los perfiles de vegetación se observó un patrón en los incrementos diametrales; de mayor a menor desde la orilla (laguna, estero o mar) hacia el interior del bosque de mangle (**Tabla 8**). Este comportamiento coincide con lo reportado por Gaona Pineda (2006) en la Reserva de la Biósfera los Petenes.

Tabla 8. Promedio del incremento diametral medido a 10 cm., arriba y abajo de 1.30 m de altura del árbol en el litoral del estado de Campeche a través del 2009, 2010 y en la época de estiaje del 2011.

LOCALIDAD	Especie/ Tipo fisonómico	INCREMENTO (cm)	
		ARRIBA	ABAJO
Puerto Rico. Según SAF (1995)	<i>R. mangle</i>	0.4	
	<i>L. racemosa</i> y <i>A. germinans</i>	0.5	
Colombia. Guevara-Mancera (1998)	<i>R. mangle</i>	0.25-0.33*	
	<i>R. mangle</i>	0.3	
Tailandia. Aksornkoae (1997)	<i>R. apiculata</i>	0.2	
Rio Verde. Reserva de la Biósfera “Los Petenes”. Campeche, Campeche. México. Gaona Pineda (2006)	<i>A. germinans</i>	0.27	
	<i>R. mangle</i>	0.29	
Petén Neyac. Reserva de la Biósfera “Los Petenes”. Campeche, Campeche.	B	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.01
	C-M	0.15 ± 0.02	0.17 ± 0.04
Rio Verde. Reserva de la Biósfera “Los Petenes”. Campeche, Campeche.	B	0.27 ± 0.04	0.25 ± 0.04
	M-C	0.28 ± 0.01	0.27 ± 0.02
Sabancuy. Área Natural de Protección de Flora y Fauna. Laguna de Términos, Campeche, Campeche.	B	0.18 ± 0.03	0.22 ± 0.04
	B	0.20 ± 0.07	0.21 ± 0.07
Xibuja. Área Natural de Protección de Flora y Fauna. Laguna de Términos. Campeche, Campeche	B-R	0.38 ± 0.05	0.36 ± 0.04
	R	0.08 ± 0.17	0.09 ± 0.26
Estero Pargo. Área Natural de Protección de Flora y Fauna. Laguna de Términos. Campeche, Campeche	B	0.44 ± 0.16	0.44 ± 0.09
	RB	0.35 ± 0.12	0.33 ± 0.12
Atasta. Área Natural de Protección de Flora y Fauna. Campeche, Campeche.	R	0.37 ± 0.05	0.45 ± 0.09
Champotón. Campeche, Campeche	B	0.24 ± 0.08	0.23 ± 0.08
	C	0.37 ± 0.02	0.36 ± 0.02

Incremento diametral inter anual

Al aplicar una análisis de varianza de una vía entre los años 2009, 2010 y época de estiaje del 2011, no se encontraron diferencia significativas ($p>0.05$).

(E) Producción de raíces finas

Área de Protección de Flora y Fauna de laguna de Términos

Las raíces son estructuras de las plantas que desempeñan importantes funciones como la captación de nutrientes y agua, asimismo el sistema radicular sirven como anclaje al sustrato. Su distribución a lo largo del perfil del suelo está en función de la concentración de nutrientes, así como de las propiedades físicas y químicas de éste (Sánchez-Gallén *et al.*, 2003). Ante lo expuesto, el presente estudio estimó la biomasa de raíces finas a través de su distribución vertical en el perfil del suelo (de 0 a 30 cm de longitud); estableciéndose diferentes categorías con respecto al diámetro (0-0.2, 0.21-0.5 y 0.51-2.5 cm). En cada localidad se efectuó la estimación de la biomasa en el manglar de borde e interno; y, en diferentes tiempos de muestreo (**T0**= muestra inicial-año 2009, **T1**= 12 meses-año 2010 y **T2**= 24 meses-año 2011 (**Figura 31**).

En general la mayor biomasa de raíz se registró en el muestreo *in situ*, en las siete localidades en estudio (**Figura 31**). La biomasa de raíz disminuyó de norte a sur (de la Reserva de la Biósfera los Petenes a Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. **Figura 31**). Esto atribuido a las características hidrológicas de cada ecosistema; pues los bosques de manglar reciben los afluentes en mayor cantidad del agua vía subterránea y menor disponibilidad de nutrientes; por ende mayor necesidad de producción de raíces por abajo del sedimento, para la asimilación de los nutrientes y anclaje, que con respecto a los bosques de la Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. Donde los intervalos de biomasa *in situ*, en general detectados para la Reserva de la Biósfera los Petenes fue de 355.2 gr.m⁻² hasta 17,972.4 gr.m⁻² y en los bosques de mangle del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, se presentó desde 239 gr.m⁻² hasta 9482 gr.m⁻²; tanto en el bosque del borde como el interno, para raíces con diámetros de 0-0.2 cm y 0.51-2.5 cm (**Figura 31**). Sin embargo, las raíces con diámetros de 0.21-0.5

cm establecieron las biomásas más bajas, con 173 gr.m^{-2} a 534.1 gr.m^{-2} . En el caso de la biomasa de raíces en los bosques ubicados en el río Champotón, estos mostraron similares cantidades y tendencia de producción de biomasa, que con respecto a los ubicados en la Reserva de la Biósfera los Petenes, con valores de 2115.5 gr.m^{-2} hasta $10378.8 \text{ gr.m}^{-2}$.

El patrón de producción de biomasa a través del tiempo en las siete localidades en estudio definieron un incremento, sin embargo sólo los bosques de mangle de Sabancuy produjeron a los dos años similar biomasa a la evaluada *in situ*, tanto en el bosque del borde como el interno (**Figura 31**). Así mismo, se puede apreciar que en general los bosques que bordean la línea de costa, el caudal del río o laguna (según el caso) presentan la mayor biomasa de raíz en sus tres categorías, con respecto a los manglares internos; con excepción de Estero Pargo y Sabancuy tanto en la producción de 12 y 24 meses. Esto al disponer de mayor cantidad de nutrientes y mejores condiciones ambientales (*e.g.* frecuencia de inundación, disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua intersticial, entre otros). Day (1987) indica una mayor productividad primaria en los bosques de mangle, en zonas donde la salinidad es menor, el aporte de los nutrientes y circulación del agua es constante.

Por otra parte, es relevante mencionar que la biomasa de raíces evaluada *in situ* para este estudio, fue superior en los bosque de la Reserva de la Biósfera los Petenes y el río Champotón; pero igual que en los bosques del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos (**Figura 31**), que con respecto a las reportadas por Menéndez-Carrera y Guzmán-Menéndez (2006) para comunidades de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en Cuba (con 5579 gr m^{-2} y a una profundidad de 0 a 0.25 m.). Autores como Lugo y Snedaker (1974), indican que la variabilidad de los datos de biomasa de manglar puede atribuirse a la edad, historia del área o a las diferencias estructurales.

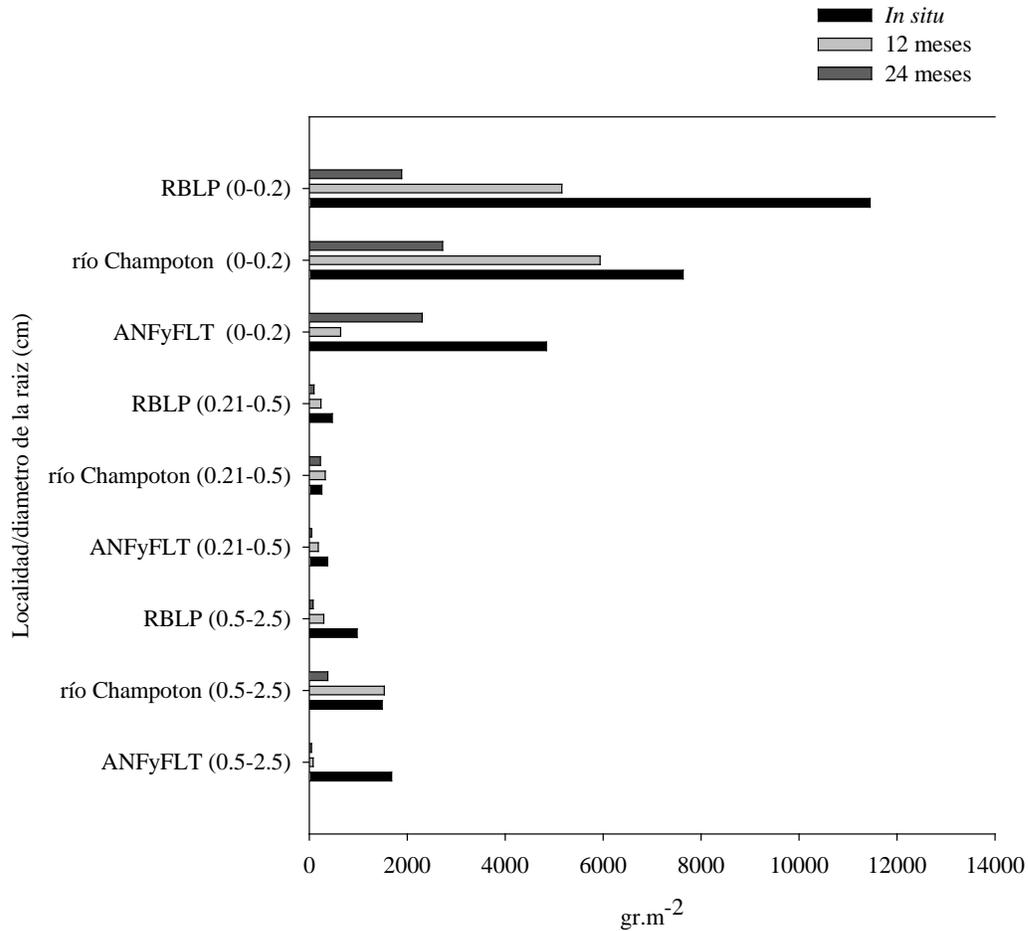


Figura 31. Producción de biomasa de raíces finas a través del tiempo en las siete localidades en estudio del litoral del Estado de Campeche.

Área Natural de Flora y Fauna de laguna de Términos

La mayor biomasa de raíz registrada *in situ* y producida durante los dos ciclos anuales fue registrada en los diámetros de 0.0-0.2 cm., para las cuatro localidades que se contemplaron

en este estudio del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos; tanto en el bosque del borde como en interno (**Figura 32**). Por otra parte, la producción de la biomasa de raíz fue superior y homogénea en el segundo año entre las cuatro localidades, que con respecto al primer ciclo anual (**Figura 32**).

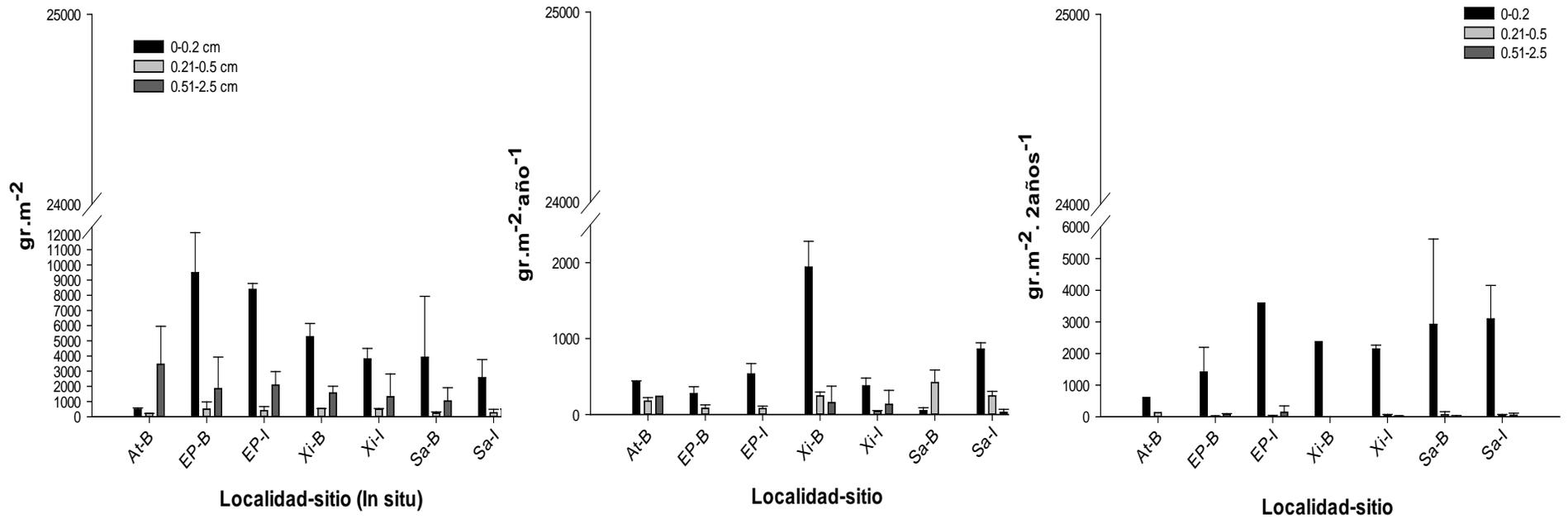


Figura 32. Producción de raíces finas por localidad y sitio de estudio (At = Atasta, EP= Estero Pargo, Xi = Xibuja, Sa=Sabancuy, -I= bosque interno, -B=bosque del borde), *in situ* y durante dos ciclos anuales (2010 y 2011).

Río Champotón

En la localidad de río Champotón, la mayor producción de raíces por categoría en los diferentes tiempos contemplados en este estudio, se exhibió en el diámetro de 0-0.2 cm., en el bosque del borde e interno (**Figura 33**). Por otra parte, la producción de biomasa con diámetros de 0.21-0.5 y 0.51-2.5 cm, durante el 2010 y 2011 fue muy baja en comparación con el resto de las localidades en estudio.

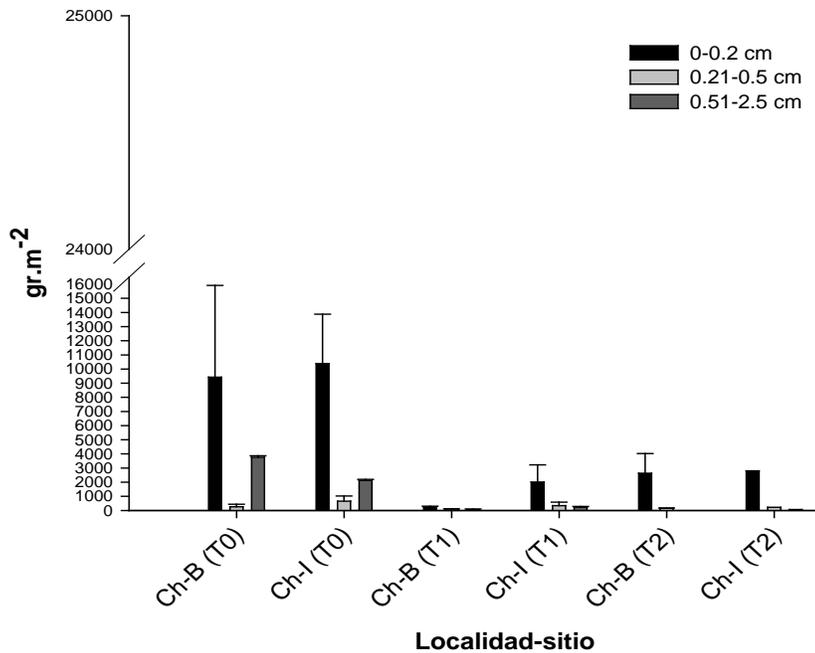


Figura 33. Producción de raíces finas por localidad y sitio de estudio (Ch = Champotón, -B= bosque del borde, -I= bosque interno) en diferentes tiempo (T0= evaluación *in situ*, T1= 12 meses y T2= 24 meses).

En las localidades establecidas dentro de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, la mayor producción de biomasa de raíz por diámetro, se reconoció a su vez en las raíces de 0-0.2 cm. Siendo relevante mencionar que para esta región se detectó, a diferencia del resto de las localidades de este estudio, la mayor la producción de la biomasa de raíces a los 12 meses. Pero con los picos más altos en la localidad de Peten Neyac a los 24 meses (**Figura 34**).

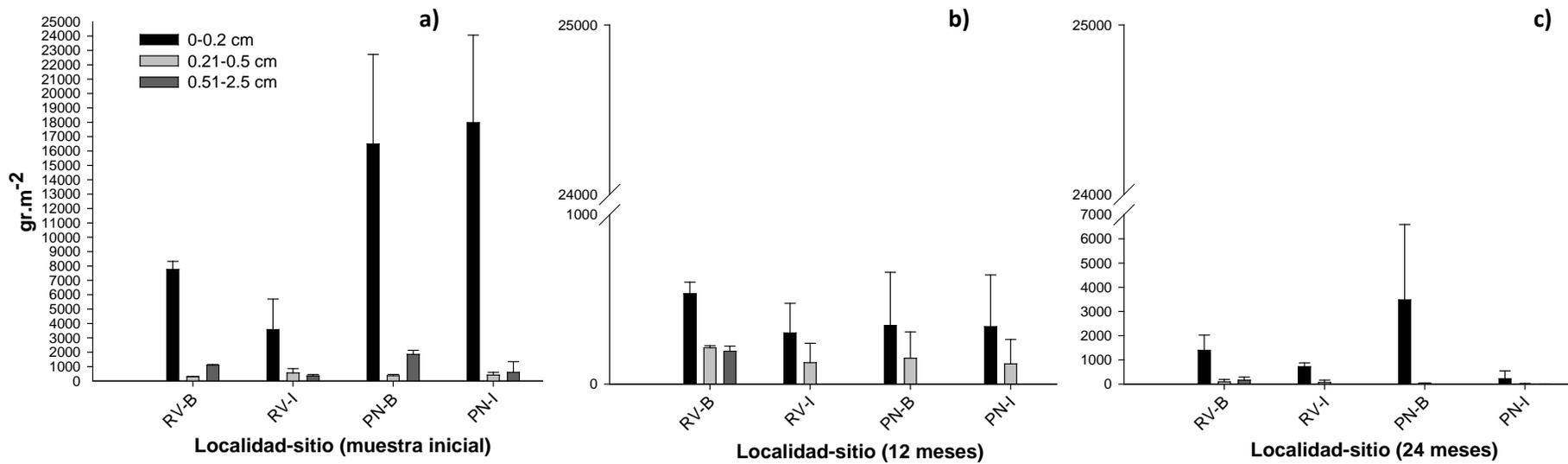


Figura 34. Producción de raíces finas por localidad y sitio de estudio (RV = Río Verde, PN = Peten Neyac, -I= Bosque interno, - B= Bosque del borde) en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

(F) Escenarios ambientales (Datos climáticos de enero de 2006 a julio de 2011)

La variación en la estación de lluvias y la temperatura del aire durante el periodo de 1952 al 2005 (54 años) en el estado de Campeche, con injerencia en las áreas en estudio (CONAGUA); presentó una precipitación promedio anual para este periodo de 1492 ± 314.6 mm; definiéndose claramente tres estaciones del año (**Figura 35**).

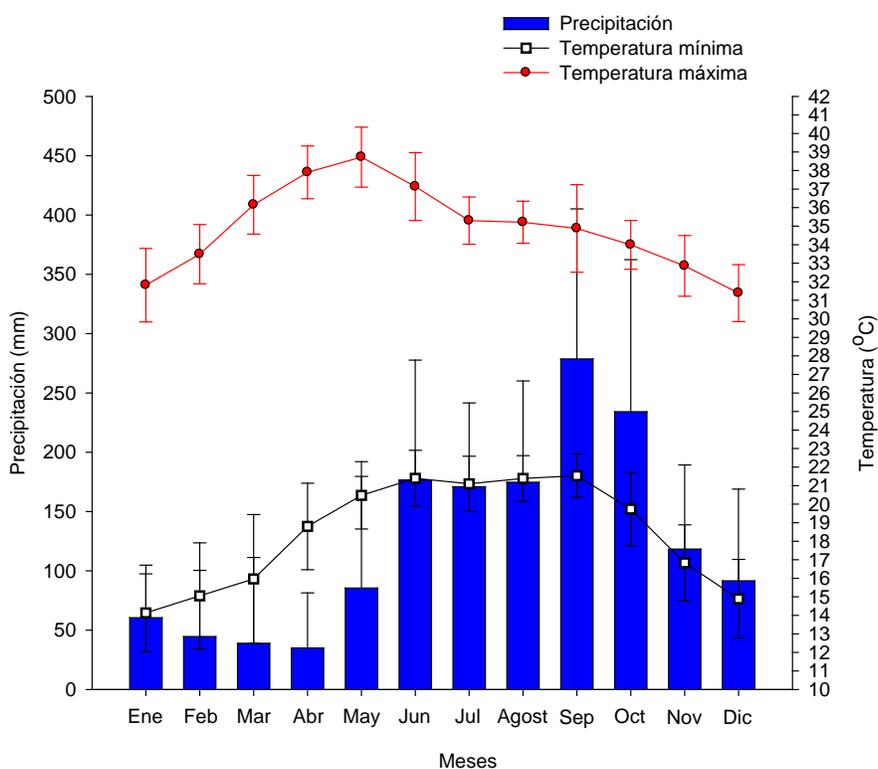


Figure 35. Datos promedio de la precipitación anual, temperatura máxima y mínima (°C) de 1952-2005.

Datos meteorológicos del Estado de Campeche, México.

La precipitación promedio durante la época de lluvias se estableció de mayo a octubre, con 1116.2 ± 246.1 mm; época de nortes de noviembre a enero, de 88.2 ± 42.6 mm; y época de estiaje de febrero a abril, con promedio de 110.8 ± 100.6 mm. En el caso de la temperatura del aire, el promedio anual fue de 26.9 ± 2.4 °C, con un intervalo de 19.1 ± 3.6

°C a 34.9 ± 2.9 °C (**Figura 35**). Caso contrario al periodo del 2006 al 2009 considerado para este estudio, donde se registró una disminución del 22.2% en la precipitación promedio anual (1161 ± 273.7 mm) y gran variabilidad en el patrón de lluvias por época del año; con 13.4% menos durante la época de lluvias ($979.2 \text{ mm} \pm 69.2$ mm), 13.4% menos en la época de nortes (76.4 ± 15 mm) y un aumento del 3.4% para la época de estiaje (114.2 ± 4.9 mm). Este patrón atípico interanual y estacional específicamente es marcado para el año 2008, ya que la precipitación fue mayor a 1.6 veces, con respecto a los años 2006, 2007 y 2009. Incluso el patrón que se registraba en los meses de mayor precipitación durante el periodo de los 54 años, ha cambiado entre los cuatro ciclos anuales de este estudio. Asimismo, la época de estiaje del 2008 superó las lluvias de la época de nortes, con 120 mm y 16 mm, respectivamente (**Figura 36**). Respecto a la época de nortes, en los cuatro ciclos anuales, el 2009 fue el año más lluvioso, superando 2.3, 1.6 y 12.2 veces más que los años 2006, 2007 y 2008, respectivamente; e incluso el año 2008 para la época de norte no presentó casi lluvias (solo 16.0 mm/3 meses) (Figura 3). Para la época de estiaje, el año más seco fue el 2006, con 20.6, 17.1, 5.0 y 2.1 veces menos de precipitación que en los años 2007, 2008, 2009 y 2010 correspondiente (**Figura 36**). Esta variabilidad estacional entre los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 fue validada al aplicar un análisis de varianza de una vía ($F_{4,36} = 12.33$, $p < 0.001$).

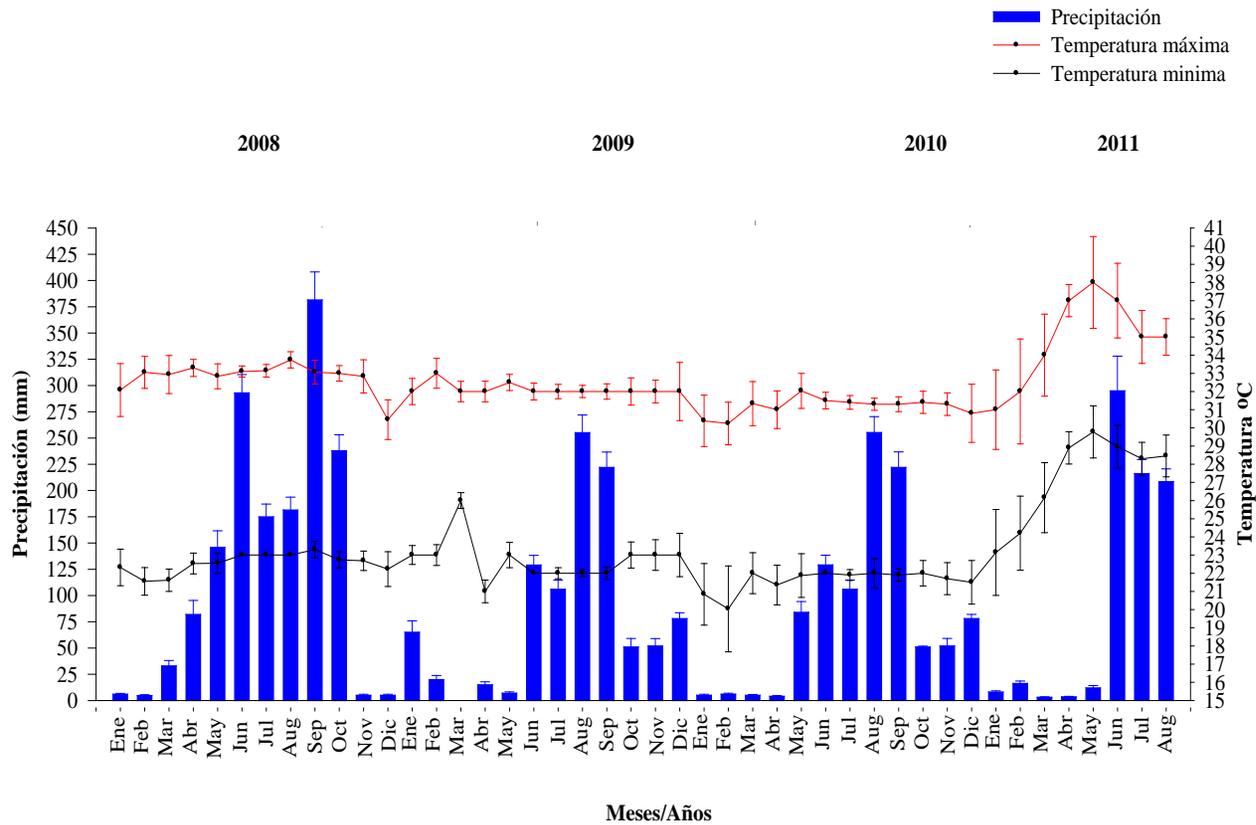


Figura 36. Promedio de la precipitación por época del año, en el Estado de Campeche; México. Datos CONAGUA del 2006 al 2011.

Al igual que la precipitación, la temperatura del aire presentó durante el periodo del 2006 al 2010, cambios significativos en el promedio anual, máximo y mínimo, así como en las tendencias estacionales; comparadas con lo registrado en el periodo de 1952 al 2005 (Figura 2 y Figura 4), causal de la temperatura promedio anual en el ciclo de los 5 años (para este estudio), se incremento en 5.9°C con respecto al periodo de los 54 años. Lo antes expuesto fue validado mediante una ANOVA de dos vías (**Tabla 9**). Esta variación en la temperatura se considera atípicas para los años 2006 y 2007 donde la temperaturas máximas fue de 30 a 34 °C con variabilidad máxima entre las estaciones del año de 4.7 °C; el cual discrepo con los registros de los años 2008 y 2009, cuyas temperaturas máximas fueron de 32 a 33.7 °C, con una menor variación estacional de 1.7 °C (Figura 4); manteniéndose constante la temperatura máxima entre las tres estaciones anuales, en ambos años (32.4 ± 0.6 °C). Por otra parte, las temperaturas mínimas presentaron una variación estacional, entre los años 2006, 2007 y 2008, no mayor a 3.4 °C, con intervalos de 20.5 a 23.9 °C (Figura 3). Sin embargo, para variabilidad estacional en la temperatura mínima fue 6.1 °C para el año 2009, con intervalos de 21.0 a 26.1 °C (**Figura 36**).

Table 9. Análisis de ANOVA de dos vías, para evaluar el efecto por año (factor 1, 5 niveles, desde el 2006 al 2010), y por época del año (factor 2, tres niveles, época de lluvia, estiaje, and *nortes*) de la precipitación y temperatura máxima y mínima. Datos meteorológicos del Estado de Campeche (Nivel de significancia $\alpha=0.05$).

Fuente de variación	Grados de libertad	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor
		Precipitación		Temperatura máxima		Temperatura mínima	
Estaciones del año	2	16.12	0.001	16.00	0.001	5.3	0.009
Año	4	0.23	0.876	4.79	0.003	2.87	0.003
Interacciones entre estaciones del año x año	8	0.71	0.646	4.12	0.001	2.61	0.034
Error	43						
Total	57						

Los escenarios establecidos por la variabilidad estacional del 2006-2010 para este estudio, fueron validados a través de los resultados obtenidos en los Índices de Precipitación Estandarizada (IPE) publicados por Agraz Hernández *et al.*, (2012).

(G) Características edafológicas del sedimento del manglar

Los atributos principales del sustrato de los manglares son la humedad, textura, salinidad, potencial redox y composición química; estos se deben principalmente a la evolución del pasado y presente de los procesos geomórficos. Los manglares reflejan cada uno de estos procesos respondiendo a los gradientes ambientales de la elevación, drenaje, estabilidad, características del suelo, y de las entradas de nutrientes. Esto se ha observado en diversas partes del mundo (Woodroffe, 1983, 1992, Fujimoto *et al.*, 1996).

Las características químicas de la turba de manglar fueron analizadas por cada tipo fisonómico (sitio) para cada localidad en estudio en el primer año (2009) y tercer año (2011) de monitoreo. Todo ello a través de la extracción de núcleos con una profundidad máxima de 50 cm, con base a las condiciones descritas en el capítulo de métodos de este documento.

Composición del suelo

Los suelos analizados en los bosques de mangle se clasificaron de acuerdo con el arreglo y grado de descomposición de los materiales orgánicos del suelo se encontraron 2 horizontes en los núcleos de las 7 estaciones de muestreo en donde la primera capa está compuesto principalmente por material Fíbrico y material Hémico y la segunda capa está compuesta por material Sáprico y materiales limo arcillosos.

Para el caso del suelo en los manglares de Atasta, estos están compuestos por materiales Fíbricos en la primera capa, y en la segunda capa, principalmente por materiales limo-Arcillosos y sulfhídricos debido a la coloración que presenta que fue de un tipo grisáceo.

Características químicas del suelo

Nutrientes en la turba de manglar en los diferentes bosques (nitrógeno total y fosforo total).

Los manglares requieren de una gama de sales inorgánicas, muchas en cantidades pequeñas, pero otras, tales como los nutrientes N y P, en cantidades grandes. Sin embargo, diversos autores mencionan que la mayor parte del nitrógeno que se encuentra en el suelo es en forma orgánica. Por lo general, se presentan cantidades relativamente pequeñas en forma de compuestos de amonio y nitratos, que son las formas asimilables por las plantas, al igual que otras formas de compuestos nitrogenados que se incluyen en la cantidad total de nitrógeno en los suelos (Bautista *et al.* (2005), Jackson (1970), Karmarkar (1982) y Moreno *et al.* (2002)). Debido a lo anterior, también es posible obtener la concentración de nitrógeno total del suelo en forma indirecta analizando la concentración de la materia orgánica en la misma muestra, ya que existe una relación de materia orgánica-nitrógeno total de aproximadamente 20:1.

En los bosques de manglar en estudio, se observó un comportamiento general en el porcentaje de nitrógeno total en relación al contenido de materia orgánica del sedimento. Atribuyéndose al hecho de que el porcentaje disminuye al igual que la fracción orgánica, cuando se incrementa la profundidad del perfil del sedimento. Al respecto Karmakar, (1982) menciona que los residuos del mangle son el principal componente en la fracción orgánica en los sedimentos y su acumulación se atribuye a la intensa actividad biológica y microbiológica que acompaña su descomposición, en el período en que el suelo permanece con bajo contenido de agua.

Los sedimentos de los bosques de manglar en estudio, han sido clasificados como Histosoles por su alto porcentaje de materia orgánica. Donde los siguientes sitios están catalogados como ricos en porcentaje de nitrógeno total con valores mayores o iguales a 0.3: Peten Neyac y Río Verde en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Sabancuy, y Estero Pargo en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos y en la localidad de río Champotón.

En el caso de sedimento de los bosques ubicados en el río Champotón fueron los que registraron el mayor porcentaje de nitrógeno total, esto debido a su alto contenido de

materia orgánica como consecuencia de los flujos de descargas de origen antropogénico y las prácticas ganaderas y agrícolas aledañas en el cauce del río Champotón, cabe mencionar que los valores obtenidos de nitrógeno total fueron similares a los encontrados por Moreno *et al.* (2002) en suelos de manglar en el estado de Tabasco.

Las localidades de Xibuja y Atasta del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos se clasificaron como medianamente ricos en porcentaje de nitrógeno total. En el caso de Atasta hay una relación directa con el color del perfil del suelo, debido a su bajo contenido de materia orgánica.

Se realizó un análisis de comparación de variables múltiples (% de materia orgánica, densidad aparente, %NT y % PT) en el sedimento en donde se observaron diferencias significativas en el NT, PT y en la materia orgánica y densidad aparente no mostraron diferencias significativas en el periodo de monitoreo del año 2009 y 2011 como se observa en la **tabla 10** estos efectos de variación del % de NT y PT es debido a la descargas de aguas residuales provenientes de origen antrópico y de manera natural proveniente en las épocas de lluvias.

Tabla 10. Prueba de MANOVA entre % de materia orgánica, densidad aparente, % de NT y % PT, potencial redox y pH del sedimento en el periodo de monitoreo del año 2009 y 2011 en los siete sitios e muestreo.

Parámetros Físico- químicos del	Criterios	Prueba estadística	Estadístico F	gl núm.	gl denom.	Valor p
------------------------------------	-----------	-----------------------	---------------	------------	-----------	---------

sedimento						
Comparación entre las entre los 7 sitios de mue	Wilks	0.504	9.09	4	37	0.0001
	Lawley-Hotelling	0.983	9.09	4	37	0.0001
	Pillai's	0.495	9.09	4	37	0.0001
	*Los valores de s= 1; m= 1 ; n= 17.5					

Parámetros químicos del sedimento

El potencial redox es una medición del flujo de electrones que se presenta durante el proceso de óxido-reducción que ocurre entre los elementos químicos y la materia orgánica presentes en el sedimento y a su vez está relacionado con el pH y la concentración del oxígeno. El comportamiento del redox es análogo al pH, pues el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones. En la **figura 36** se muestra el comportamiento del potencial redox en el sedimento para los años 2009 y 2011. Los años antes referidos, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por localidad y en los dos periodos de monitoreo. De manera general en cada núcleo de sedimento extraído por cada localidad, se observa una disminución del potencial redox a mayor profundidad. Esto debido a la reducción de elementos químicos como el carbono y el nitrógeno creando condiciones hipóxicas con tendencias a anóxicas. Para el 2009 los siete sitios de muestreo mostraron una condición hipóxica con tendencia a óxica, en donde el menor potencial redox se registró en Estero Pargo, con -129 mV y la mayor cantidad en Xibuja de (35 mV.

Tabla 11)

En el año 2011 la menor cantidad fue registrada en el humedal de manglar del Estero Pargo, con -259 mV y la mayor cantidad fue registrada en el Río Verde con -80 mV. Las variaciones que se presentaron están relacionadas con los cambios en la precipitación y temperatura de cada ciclo anual, así como la marea (**Tabla 11. Figura 36**). Al respecto autores como Gleason *et al.*, (2003) mencionan que las condiciones de oxidación están relacionadas con la hidrología (tiempo de residencia del agua, frecuencia de inundación por efecto de la marea)

pH

Los suelos de los bosques de manglares son generalmente ácidos (Suprayogi y Murray 1999). Las altas condiciones reducidas de los suelos y la consecuente acumulación de sulfitos causan condiciones de acidez extrema. Por otra parte los suelos de los manglares funcionan como un sumidero del azufre (en forma de pirita) y la acidez se presenta con mayor intensidad cuando el azufre se encuentra disuelto en el agua formando ácido sulfúrico.

De manera general, en cada núcleo del sedimento extraído por localidad, el valor de pH para los años 2009 y 2011; mostraron una condición ácida con tendencia a ser neutro. Esto fue validado al realizar un análisis de varianza de dos vías entre los años y por localidad de muestreo, en donde se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Por otra parte, se muestra que en el año 2009 todas las localidades de muestreo fueron más ácidas en comparación al 2011 (**Figura 36 y Tabla 11**)

Tabla 11. Parámetros químicos del sedimento durante el periodo 2009 -2011 en siete localidades ubicadas a lo largo del litoral del Estado de Campeche.

SITIOS Especies	2009					2011			
	Profundidad (cm)	pH	Error estándar	Potencial redox	Error estándar	pH	Error estándar	Potencial redox	Error estándar
Peten Neyac. Reserva de la Biósfera "Los Petenes",Campeche. (<i>A. germinans</i>)	0	6.2	0.56	4.5	36.5	6,5	0,25	-87.0	19.0
	10	6.5	0.31	-38.5	93.5	6.0	0,07	-145.0	36.0
	45	6.6	0.26	-29.5	49.5	7,0	0,16	-277,5	12,5
Río Verde. Reserva de la Biósfera "Los Petenes",Campeche. (<i>A. germinans</i>)	0	6.6	0.01	33.0	78.0	6.0	0,10	-23,5	7,5
	10	6.6	0.39	21.5	66.5	6,3	0,085	-16,5	10,5
	45	6.5	0.32	-19.0	170.0	6.0	0,07	-200,5	84,5
Champlotón, Campeche	0	6.7	0.12	-51.0	227.0	7,4	1,00	-224,5	62,5
	10	6.4	0.07	7.5	174.5	6,8	0,01	-179,5	48,5
	45	6.6	0.26	-328	9.0	6,6	0,10	-327,5	14,5
Sabancuy. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche	0	4.9	1.00	51.0	13.0	6,8	0,10	-336.0	18.0
	10	5.5	0.40	74.0	19.0	6,9	0,16	-187,5	1,5
	45	6.4	0.30	-196.5	24.5	6,2	0,21	-109,5	158,5
Xi buja. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche	0	5.4	0.10	89.0	73.0	6,5	0,16	-217,5	66,5
	10	6.1	0.20	130.0	2.0	6,2	0,05	-181,5	21,5
	45	6.5	0.10	-139.0	185.0	5,8	0,11	-203.0	14.0
Estero Pargo. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche	0	5.9	0.44	-72.0	16.0	6,7	0,02	-245,5	0,5
	10	5.7	0.63	-49.5	41.5	7,3	1,04	-202,5	16,5
	45	6.4	0.14	-266.0	47.0	6,5	0,17	-328.0	15.0
Atasta. Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Campeche	0	5.5	0.90	-95.0	48.0	6,8	0,06	-206,5	42,5
	10	6.7	0.00	-119.5	28.5	6,7	0,14	-153,5	38,5
	45	6.2	2.50	-126.0	144.0	6,5	0,01	29,5	126,5

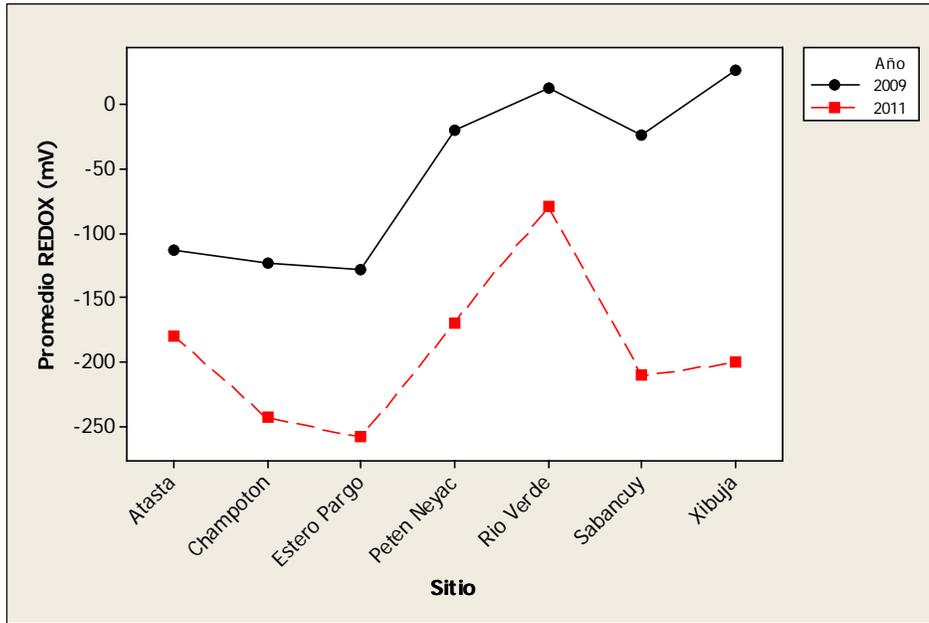


Figura 37. Variación anual del potencial redox en el sedimento durante el periodo 2009 - 2011 en las siete localidades de estudio.

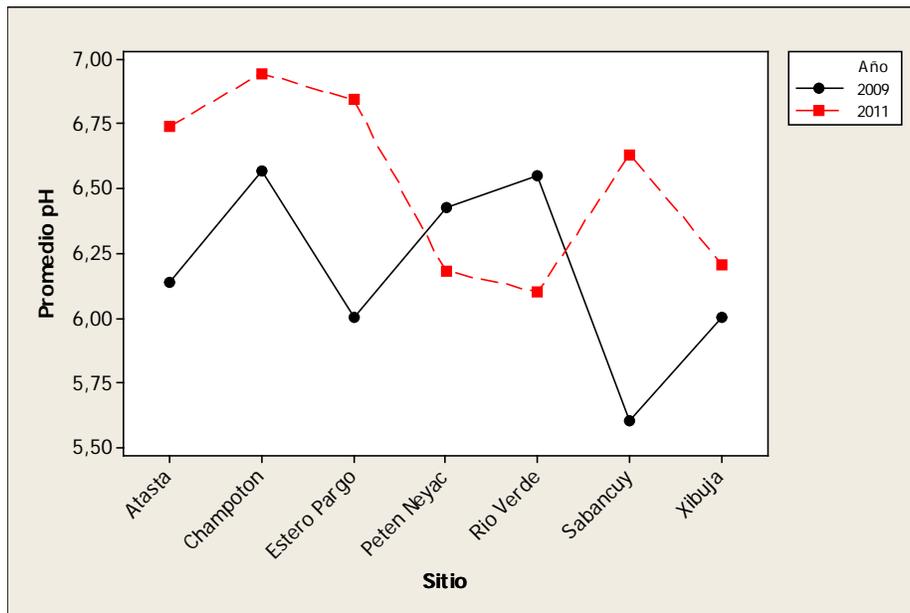


Figura 38. Variación anual del pH en el sedimento durante el periodo 2009-2011 en las siete localidades de estudio.

Densidad aparente

La densidad aparente fue analizada en los bosques de mangle de cada localidad, esto a través de los núcleos tomados en cada tipo fisonómico para determinar nitrógeno y fósforo total.

En todos los sitios se observó un comportamiento general en cuanto a su densidad aparente, esto en relación con la profundidad (a mayor profundidad se presenta alta densidad aparente). Sin embargo, debido a que la turba de manglar por su composición se clasificó como orgánica (Histosoles), se observaron bajas densidades aparentes en 6 sitios, con intervalos desde 0.189 a 0.619 g/cm³. Estas bajas densidades están relacionadas con el tipo de material orgánico, contenido mineral y humedad; y fueron similares a los encontrados por Moreno *et al.*, (2002) en suelos de manglar en el estado de Tabasco.

Densidad aparente por localidad

La densidad aparente en el sedimento de los manglares de la localidad de Atasta (se observa hasta un 2.020 g/cm³ a los 45 cm de profundidad), presentó una densidad aparente alta con respecto a la profundidad del núcleo, en comparación con el resto de las localidades de este estudio. Esto debido a que los horizontes están más compactados y a que en la superficie del núcleo se registró bajo contenido de materia orgánica.

En las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, se observó un comportamiento general en la densidad aparente durante el 2009 (con excepción de Estero Pargo) y 2011, referido ello a la profundidad del sedimento (0, 10 y 45 cm). En donde se observa un incremento en la densidad desde 0 hasta los 45 cm de profundidad. Así mismo, en la siguiente figura se puede observar que durante el 2009 la mayor densidad se registró en la localidad de Atasta para las tres profundidades analizadas (a 0, 10 y 45 cm con valores de 1.60, 1.81 y 2.01 gr/cm³, respectivamente); no obstante estos valores disminuyeron en el 2011 (0.60, 0.77 y 0.80 gr/cm³). Este comportamiento fue diferente en las localidades de Xibuja y Sabancuy, en donde la densidad se incrementó del 2009 al 20011 en las tres profundidades. En el caso de Estero Pargo, la densidad se incremento a los 45 cm de profundidad; mientras que a 0 y 10 cm, la densidad disminuyó del primer año con respecto al segundo (**Figura 39**).

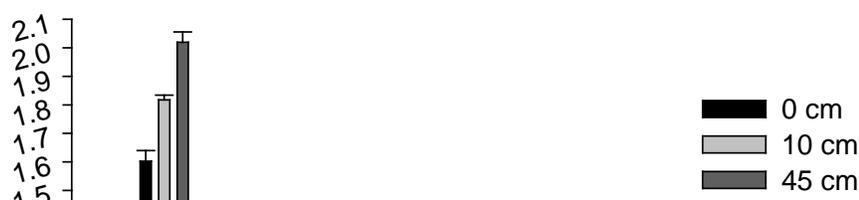


Figura 39. Densidad aparente por localidad (At= Atasta, EP= Estero Pargo, Xi= Xibuja y Sa= Sabancuy durante el análisis de 2009 y 2011 respectivamente) en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos.

Aunque en la localidad de Champotón la densidad aparente presentó diferentes comportamientos a diferentes profundidades (0, 10 y 45 cm) en los años 2009 y 2011, los valores registrados durante el 2009 fueron más altos (0.38, 0.50 y 0.41 gr/cm³, respectivamente) comparado con los valores obtenidos durante el análisis del 2011 (0.26, 0.23 y 0.38 gr/cm³ respectivamente. **Figura 40**).

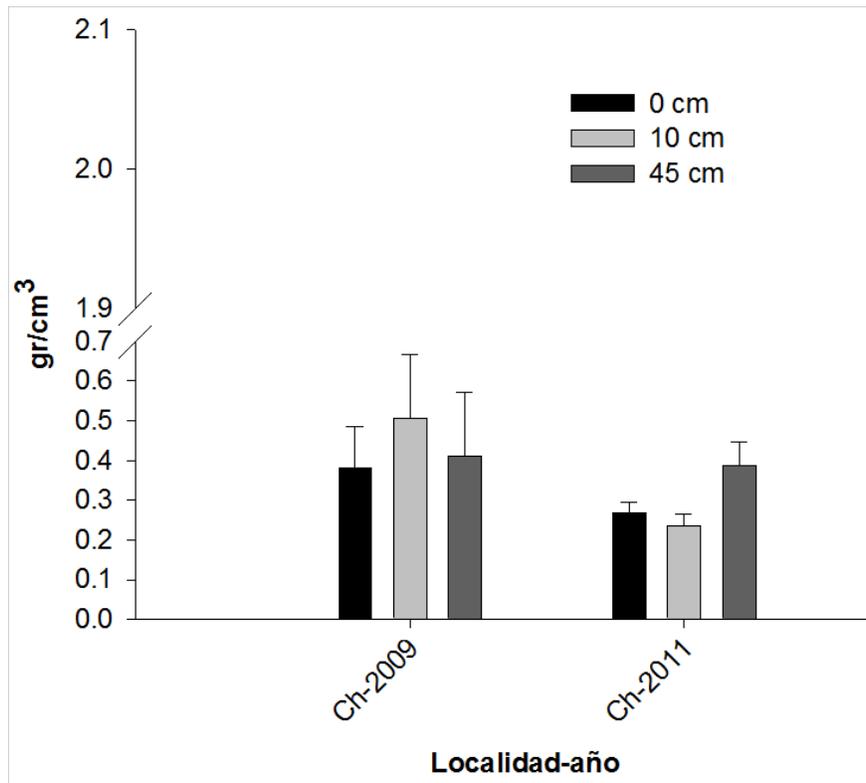


Figura 40. Densidad aparente en la localidad de Champtón durante el 2009 y 2011.

En general, en La Reserva de la Biósfera los Petenes, el comportamiento en los valores de densidad aparente fue similar entre las localidades (Río Verde y Peten Neyac) y entre años (2009 y 2011). En el caso de la localidad de Río Verde, la densidad a 10 cm de profundidad fue más alta durante el 2009 con respecto al 2011; y, en ambos años, la densidad fue ligeramente mayor en esa localidad comparado con los valores a la misma profundidad en Peten Neyac (**Figura 41**).



Figura 41. Densidad aparente por localidad (RV= Río Verde y PN= Peten Neyac durante el análisis de 2009 y 2011, respectivamente) en la Reserva de la Biósfera los Petenes.

En resumen, se observa un incremento en los valores de densidad aparente de norte a sur con valores para el 2009 y 2011, respectivamente desde 0.19, 0.18, 0.29 y 0.19, 0.18 y 0.26 gr/cm^3 en la localidad de Río Verde en la Reserva de la Biósfera Los Petenes hasta 1.60, 1.81 y 2.01 y 0.60, 0.77 y 0.80 gr/cm^3 para la localidad de Atasta dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos. En relación a las bajas densidades, éstas están relacionadas con el tipo de material orgánico, contenido mineral y humedad del suelo (Lucas 1982 y Skopp 2000). Por otra parte, la mayor densidad se registró a 45 cm de profundidad y la menor a 0 cm. Los valores de densidad registrados durante el 2009 y 2011 son superiores en las localidades en estudio dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos y Champotón y similares en la Reserva de la Biósfera los Petenes a los valores reportados por Moreno-Cáliz (2002) con 0.22 y 0.09 gr/cm^3 en suelos de manglar del estado de Tabasco.

Materia orgánica

Los bosques de manglar se caracterizan por presentar alta concentración de materia orgánica, lo cual es atribuido al aporte de hojarasca que proveen los manglares. Por consiguiente refleja un continuo y alto grado de degradación de las hojas por

microorganismos y su contenido variará considerablemente de un sitio a otro. Estos suelos son potencialmente ácidos, debido a la acumulación de pirita; siendo a su vez, el resultado de la interacción entre material orgánico del detritus de manglar, iones sulfato provenientes del agua de mar, el hierro acarreado por el río y la presencia de condiciones anaeróbicas (Jiménez, 1994). En el manglar de Barra de Santiago, en el Salvador, la mayor cantidad de materia orgánica (38.4%) fue observada en sitios alejados de los canales, donde la acción del lavado por corrientes es menor (Molina, 1988). Agraz Hernández (1999) encontró para el Estero de Urías en bosques monoespecíficos de *Rhizophora mangle*, 26.5 % y para el bosque de *Avicennia germinans*, 20.5% de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica del suelo es un buen indicador de su fertilidad, principalmente de su capacidad potencial para proporcionar nutrimentos como el nitrógeno, fósforo, azufre, etc. al ecosistema. Por otra parte diversos autores indican que los contenidos de materia orgánica y nitrógeno de los suelos los determina el clima y la vegetación que a su vez son afectados por otros factores como el relieve y el material parental.

En todos los sitios en estudio, se observó un comportamiento general en el porcentaje de materia orgánica, registrándose una relación inversa entre el porcentaje de materia orgánica vs. la profundidad (a mayor profundidad menor porcentaje de materia orgánica). Con excepción del manglar en Atasta donde esta relación fue directa con el color y la materia orgánica.

El contenido en porcentaje de materia orgánica en los sitios de Río Verde fue de 67,05 % siendo muy común estos suelos, ya que permanecen inundados durante mucho tiempo y con aportes constantes de materia orgánica (Kilham y Alexander, 1984).

Materia orgánica por localidad de muestreo

El contenido de materia orgánica fue mayor en el 2011 en las localidades de Estero Pargo, Sabancuy, Champotón, río Verde y Peten Neyac; a diferencia de Atasta y Xibuja en donde el contenido fue mayor durante el 2009 (**Figura 42**). Esto atribuido a las diferencias en la cantidad de lluvia que se presento entre el 2009 y 2011. Debido a que en el 2009 se

caracterizo por ser un año seco, limitando el acarreo de la materia orgánica por escurrimientos y por los ríos (**Figura 36**).

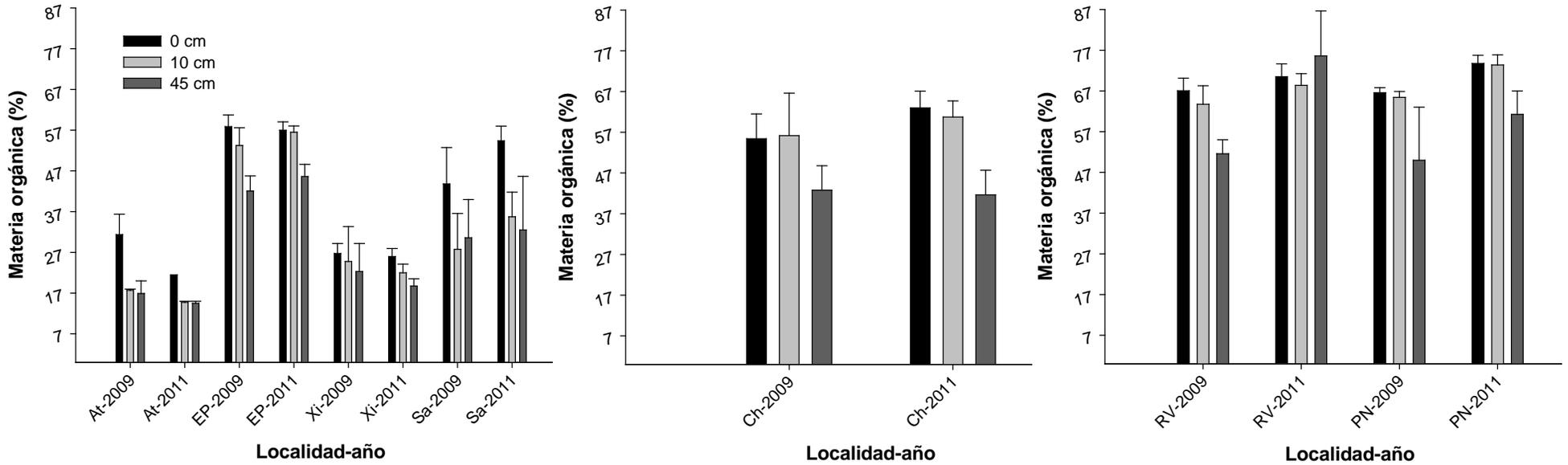


Figura 42. Contenido de materia orgánica en los sedimentos de manglar dentro de las localidades en estudio del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, río Champotón y Reserva de la Biósfera Los Petenes (At= Atasta, EP= Estero Pargo, Xi= Xibuja, Sa= Sabancuy, Ch= Champotón, RV= Río Verde y PN= Peten Neyac durante el análisis de 2009 y 2011, respectivamente).

A diferencia del comportamiento observado con los valores de densidad aparente, en el contenido de materia orgánica (para las tres profundidades analizadas: 0, 10 y 45 cm) se observó un incremento de sur a norte de la costa de Campeche en donde se localizan las áreas de manglar en estudio; obteniéndose el mínimo contenido en la localidad de Atasta dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos (desde 31.37, 17.68 y 16.9 % en el 2009 y 21.5, 14.75 y 14.5 % en el 2011 a 0, 10 y 45 cm de profundidad respectivamente) y máximos contenidos en la localidad de Peten Neyac en La Reserva de la Biósfera Petenes (de 66.57, 65.44 y 49.99% en el 2009 y 73.75, 73.3 y 61.25 % en el 2011 a 0, 10 y 45 cm de profundidad respectivamente). En relación a las variaciones en la cantidad de materia orgánica de los bosques de manglar, Molina (1988) observó mayor cantidad de ésta (38.4%) en los sitios alejados de los canales, donde la acción del lavado por corrientes es menor. Tal es el caso de los bosques de manglar en la Reserva de la Biósfera los Petenes en estudio, en donde la ausencia de ríos superficiales permite mayor acumulo de materia orgánica; ya que esta no es arrastrada por las intensas corrientes provocadas por los ríos y, aun más, durante la época de lluvias, como sucede en Champotón y las localidades establecidas dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos.

Por otra parte, el contenido de materia orgánica en las localidades de río Champotón y Reserva de la Biósfera Los Petenes reportado en este estudio, son similares a los valores reportados por Moreno-Cáliz (2002) con 48% en bosques de *Rhizophora mangle* y 85.7% en bosques de *Laguncularia racemosa*, pero mayores al reportado por Agraz Hernández (1999) para el Estero de Urías en bosques de *Rhizophora mangle* (26.5 %) y de *Avicennia germinans* (20.5%); siendo estos similares sólo a los reportados en este estudio en las localidades dentro del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos.

VIII. CONCLUSIONES

- La estructura forestal presentó diferentes tipos fisonómicos de manglar en el Estado de Campeche con respecto a los atributos forestales y dominancia de las especies, debido a la heterogeneidad de las condiciones ambientales. Definiéndose un incremento en los atributos forestales de norte a sur (de la Reserva de la Biósfera los Petenes hacia el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos). Este incremento es atribuido a las diferencias en los niveles del suelo, a los mayores afluentes de agua dulce que recibe la zona suroeste, que con respecto al noreste del Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, menor afluente por el río Champotón y por la influencia marina (directa) en los bosques de mangle de la Reserva de la Biósfera los Petenes. Por ende, al incremento de la salinidad desde 8 hasta 64 ups y la disminución del potencial redox de oxicas a hipóxicas-oxicas, de sur a norte (de Atasta hacia Peten Neyac). Con excepción de Sabancuy que presentó las máximas concentraciones en la salinidad y el río Champotón que no se incluye en la tendencia general antes descrita.

- La mayor productividad en términos de hojarasca en la Reserva de la Biósfera los Petenes y Champotón, fue aportada por *Rhizophora mangle* y para el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, *Avicennia germinans*.

- La máxima producción de hojarasca para el año 2009, se registró en los sitios con aporte de agua dulce proveniente de los ríos e importantes aportes de agua superficial; con un promedio de 19.3, 16.2 y 17.2 ton.ha⁻¹.año⁻¹ en Atasta, río Champotón y río Verde, respectivamente. Las menores producciones de hojarasca se detectaron para Sabancuy y Xibuja al recibir agua dulce vía subterránea o laminar; con 8.7 y 7.4 ton.ha⁻¹.año⁻¹, correspondientemente.

- La reproducción de las especies de manglar que se distribuyen en el litoral del estado de Campeche, se establecen en *Avicennia germinans*, entre abril y agosto para la floración y, entre agosto y octubre para la producción de propágulos. En el caso de *Rhizophora mangle* las flores y propágulos se producen durante todo el año. Sin embargo, los máximos aportes de las flores ocurren durante mayo a octubre; mientras que los propágulos de junio a noviembre. *Laguncularia racemosa* florece en general, de abril a agosto y produce propágulos de mayo a noviembre.

- La información ecológica básica generada a lo largo de este proyecto, apoya la toma de decisiones y diseño de estrategias de acción, que promueven el desarrollo sustentable de los ecosistemas de manglar en el Estado de Campeche.
- Las variaciones estacionales y disminución de la precipitación (del 35.8%), registradas del 2008 hasta el 2010 en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos; provocaron un incremento en la salinidad y una disminución en la concentración del oxígeno disuelto, generando mayor estrés en los manglares de sur a norte del Estado de Campeche, con pérdidas en la producción de la hojarasca del 2009 al 2010 del 29.0% (8.3 ton.ha⁻¹.año⁻¹) en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos; 18.3% (13.2 ton.ha⁻¹.año⁻¹) para Champotón y 0.47% (14.8 ton.ha⁻¹.año⁻¹) en la Reserva de la Biósfera los Petenes; provocando mayor defoliación de la hojarasca en los bosques internos.
- Como parte de los productos que se generaron en este proyecto, se sometió la publicación “Effects of climate variability across years on productivity and reproductive phenology of *Rhizophora mangle* L.”, a Wetlands Ecology and Management, el 6 de diciembre del 2011. Artículo en el que se concluye que los ecosistemas de manglar en general y del Golfo de México, tienen un cierto grado de “*Plasticidad fenotípica*”, lo cual les permite contender con mejor expectativa que otros humedales costeros, frente a la variabilidad ambiental inducida por los cambios climáticos.

Referencias

- 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. 132 p.
- Agraz Hernández, C.M. 2003. Subprefecto: Diagnostico ambiental y funcionalidad de dos ecosistemas de mangle en la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche.

Campeche del proyecto Estudio florístico y etnobotánico de las plantas usadas y manejadas en las comunidades mayas de la Península de Yucatán, e incremento del herbario, Jardín Etnoflorístico y la base de datos del programa etnoflora yucatanense. Financiado por CONACyT. No. 31656-B.

Agraz Hernández, 2005-2007. Reforestación y monitoreo de 17.5 ha con manglar al norte de la laguna de Términos, Campeche. Informe técnico. Apoyado por Comisión Federal de Electricidad. 350 p.

Agraz-Hernández, C.M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo y J.J. Jiménez-Zacarías. 2006. *Guía de campo: Identificación de los manglares en México*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, CFE, CONAFOR, UNAM, CEDESU, INECOL. ISBN: 9685722 455. Pág. 56.

Agraz-Hernández, C.M.; J. Osti-Sáenz, Jiménez-Zacarías, C. García-Zaragoza, E. Chan-Canul, L. González-Durán, A. Palomo-Rodríguez. 2007. *Restauración con manglar: Criterios y técnicas hidrológicas de reforestación y forestación*. Universidad Autónoma de Campeche, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional Forestal. 132 p.

Agraz-Hernández, C.M; C. García-Zaragoza; S. Iriarte-Vivar; F.J. Flores-Verdugo and P. Moreno-Casasola. 2011. Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha Lagoon in the Atlantic coast of México. *Wetlands Ecology and Management*. 19 (3): 273-293.

Agraz Hernández, C.M.; Chan Keb, C.; Osti Sáenz, J.; Chan Canul, E.; García Zaragoza, C.; Posada, G., Vega, B.E 2012. Respuesta en la productividad y fenología de *Rhizophora mangle* a la variación climática en laguna de términos, Campeche, México. En: Botello, A.; Villanueva, S.; Gutiérrez, J.; Rojas Galaviz, J.L. (eds.). *Vulnerabilidad en la zona costera mexicana ante el cambio climático*. Segunda Edición. Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa, Universidad Autónoma de México y Universidad Autónoma de Campeche. 229-254.

Aké-Castillo, J.A., G. Vázquez y J. López-Portillo. 2006. Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico. *Hydrobiology* 559:101-111.

- Aksornkoae, S 1997. Reforestación de bosques de manglar en Tailandia. Sociedad internacional para ecosistemas de manglar, Okinawa (Japón) p.55-67
- Amarasinghe MD, Balasubramaniam S (1992) Structural properties of two types of mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. *Hydrobiologia* 247:17–27
- Barreiro-Güemes, M.T. 1999. Aporte de hojarasca y renovación foliar del manglar en un sistema estuarino del Sureste de México. *Revista de Biología Tropical* 47: 729-737.
- Bautista F., J. Navarro, A. Manu y R. Lozano. 2005c. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico. En: Bautista F. y G. Palacio. Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. UACAM-UADY. Campeche, México. 282 p.
- Boto, K.G. 1984. Waterlogged saline soil. In Snedaker, S.C. and Snedaker, J.G. (Eds). *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*. Pp. 114-130, UNESCO, París.
- Bunt, J.S., Williams, W.T. and Clay, H.J. 1982. River water salinity and the distribution of mangrove species along several rivers in north Queensland. *Australian Journal of Botany* 30, 401–412.
- Citron, G. y Schaeffer-Novelli, Y. 1983. Introducción a la Ecología del manglar. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe ROSTLAC. Montevideo-Uruguay. 109 p.
- CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Coronado-Molina, C., 2000. Litterfall dynamics and nutrient cycling in mangrove forests of Southern Everglades, Florida and Terminos Lagoon, Mexico. Louisiana State University, Department of Oceanography and Coastal Sciences, Ph.D. Dissertation.
- Craft, C. B., E. D. Seneca, and S. W. Broome. 1991. Loss on ignition and Kjeldahl digestion for estimating organic carbon and total nitrogen in estuarine marsh soils: calibration with dry combustion. *Estuaries* 14:175–179.

- Day, J.W.; C. Coronado; F.R. Vera; R.R. Twilley; V.H. Rivera; H Alvarez; R. Day y W. Conner. 1996. A 7 year record aboveground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany* 55(1): 39-60.
- Day, J.R., W. H. Conner, F. Ley-Lou, Richard H. Day and A. Machado Navarro. 1987. *Aquatic Botany*, 27, pp. 267-284 Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam. Printed in The Netherlands
- De la Lanza Espino G.C. y C. Cáceres Martínez, 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 371-425 p.
- Félix Pico E.F., O.E. Holguín Quiñones, A. Hernández-Herrera y F. Flores-Verdugo. 2006. Producción primaria de los mangles del Estero El Conchalito en Bahía de la Paz (Baja California Sur, México). *Ciencias Marinas*, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. 32(1A): 53-63.
- Flores-Verdugo, F.J. (1989). Algunos Aspectos Sobre la Ecología, Uso e Importancia de Los Ecosistemas de Manglar. Cap. 2. (pp.22-56). En Rosa-Vélez, J. de la y F. González-Farías (eds) *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.
- Flores-Verdugo, F.J. 1985. *Aporte de materia orgánica por los principales productores primarios a un ecosistema lagunar estuarino de boca efímera*. Tesis Doctoral. U.A.C.P.P.C.C.H. Universidad Nacional Autónoma de México. 191 pag.
- Flores-Verdugo, F.J., P. Moreno Casasola; C.M. Agraz Hernández; H. López Rosas; D. Benítez Prado; A.C. Travieso Bello. 2007. Topografía y el hidropериодо: dos factores que condicionan la restauración de los humedales. Número 80. *Sociedad Botánica Mexicana*. 33-48 pág.
- Flores-Verdugo, F.J., P. Casasola., G. de la Lanza-Espino., y C. Agraz-Hernández. 2010. El manglar, otros humedales costeros y el cambio climático. p.165-188. En: Botello, A. V., S. Villanueva-Fragoso., J. Gutiérrez, y J. L. Rojas Galaviz (eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Gobierno del Estado de Tabasco. Semarnat- INE, UNAM-ICMyL, Universidad de Campeche. 512p.
- Flores-Verdugo, F.J.; F. González Farías, D.S. Zamorano y P.G. Ramírez. 1992. Mangrove ecosystem of the Pacific Coast of Mexico: distribution structure litterfall, and detritus dynamics. *Coastal Plant Communities of Latin America*, Academic Press, Inc.: 269-288.

- Fujimoto, K., Miyagi, T., Kikuchi, T. and Kawana, T., 1996: Mangrove habitat formation and response to Holocene sea-level changes on Kosrae Island, Micronesia. *Mangroves and Salt Marshes* 1, 47–57.
- Gaona-Pineda O (2006) Consideraciones Ambientales y Prospección para la Restauración de un Ecosistema de Manglar al Sureste de la Reserva de la Biósfera “Los Petenes”. Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de maestría en Ciencias Biológicas Enfoque en Restauración Ecológica, Facultad de Ciencias, México
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 71 PP.
- Giraldo, B. 1995. Estimación del a regeneración natural del manglar en la Ciénega Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. Tesis profesional. Fac. de Ciencias. Univ. Del Valle. 142p.
- Gleason S.M., Ewel K.C., Hue N. (2003) Soil redox conditions and plant–soil relationships in a Micronesian mangrove forest. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 56, 1065–1074.
- Golley, F.B., Odum, H.T. y Wilson R.F. 1962. The structure and Metabolism of a Puesto Rican red mangrove forest in May. *Ecology*. 43:1-16.
- Guevara Mancera, O.A. 1998. Manual para la restauración de los bosques de manglar en áreas degradadas del Pacífico colombiano. Proyecto PD 171/91 Rev.2 Fase II(Etapa I) Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los manglares en Colombia, MMA/ ACOFORE/OIMT, Santa Fe de Bogotá D.C, Colombia. 16 p.
- Gutiérrez-Estrada, M. y A. Castro del Río, 1988. Origen y desarrollo geológico de la laguna de términos. 89-110 En: A. Yañes-Arancibia y J.M. Day Jr. (Comps.). *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur de Golfo de México: La Región de la Laguna de términos*. Ins. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México Coast. Ecol. Inst. LSU Editorial Universitaria, México D.F.
- Gutiérrez-Estrada, M., V.M. Malpica-Cruz & J. Martínez- Reyes. 1981. Geomorfología y sedimentos recientes del sistema Lagunar Atasta-Pom. Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*. 9: 89-100
- Hernández, A. y Muller, K.1971. Productividad primaria neta en un manglar del Pacífico Colombiano. *Memorias de Simposium sobre el Pacífico Colombiano*. Universidad del Valle, Cali. Colombia.123-130.

- Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., vander Linden P.J. y Xiaosu D. (Eds) (2001): Climate change 2001. The scientific basis. Cambridge University Press, UK, 896 pp.
- Jackson M.L. 1970. Análisis Químico de suelos 2ª. Edición; Ed. Omega. Barcelona España. 450 Pág.
- Jiménez, J.A. 1990. The structure and function of dry weather mangroves on the Pacific coast of Central America, with emphasis on *Avicennia bicolor* forests. *Estuaries*, 13(2): 182-192.
- Jiménez, J.A. 1994. A hypothesis to explain the reduced distribution of the mangrove *Pelliciera rhizophorae* Tr. & Pl. *Biotropica*, 16: 304-332.
- Karmarkar, S.M. 1982. Senescence in mangroves. In: W. Junk, ed. contributions to the ecology of halophytes. La Haya, Holanda. p: 173.
- Kilham, O.W. y M. Alexander. 1984. A basis for organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. *Soil Science*. 137 (6):419-427.
- Lacerda, L.D., J.E. Conde, B. Kjerfve, R. Álvarez-León and J. Polanía. 2001. American mangroves: 1-62. En Lacerda, L.D (Ed.). *Mangrove Ecosystems. Function and management*. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo, 292 p.
- De Lanza-Espino, G. y Martínez-Cáceres, C. 1994. *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 371-425.
- Lewis, R.R. & C.K. Haines. 1980. Large escala mangrove restoration on St. Croix., US. Virgen Islands. En: D.P. Cole (ed.) *Proc. 7 at Annual Conference on the Restoration and Creation of Wetlands*. Hillsborounh Community College, Tampa, Florida, EEUU. 137-148.
- Lewis, R.R. 1982. Mangrove forests. In R.R. Lewis (ed), *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities*. Boca Raton: CRC Press, 153-172.
- Lichtenthaler, H.K. 1996. Vegetation strees: an introduction to the stress concept in plants. *J. Plant Physiol.*, 148,4-14
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares en México: una revisión. *Madera y Bosques*. Número especial: 27-51.
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 1985. *Litter fall of Avicennia germinans L. in a one-year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacan, Tabasco, Mexico*. *Biotropica* 17:186-190.

- López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 1989a. Response of three mangroves to salinity in two geoforms. *Functional Ecology* 3:355-61.
- Lucas, R.E. 1982. Organic soils (Histosols) formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production. Research report. The Michigan State University.
- Lugo, A.E. and S.C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 39-64.
- Lugo, J. 1999. Geomorfología. En: Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán. Chico P P (Ed). Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán México.
- Molina, O. A. (1988): *Análisis ginecológico del manglar de la Barra de Santiago*.
- Moreno C., E; A. Guerrero P.; M.C. Gutiérrez C.; C.A. Ortiz S. y D.J. Palma L. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques* Número especial: 115-128.
- Moreno-Casasola, P., J.L. Rojas-Galaviz, D. Zárate-Lomelí, M.A. Ortiz-Pérez, A.L. Lara-Domínguez y T. Saavedra. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques* Número Especial. 1: 61-88.
- Navarrete y Oliva Rivera. 2002. *Litter Production of Rhizophora mangle at Bacalar Chico, Southern Quintana Roo, Mexico*. Colegio de la Frontera Sur-Unidad Chetumal, Quintana Roo, México. *Universidad y Ciencia* Vol. 18 Num. 36. 85 pp.
- Odum, W.E., C.C. Melvor, y T.J. Smith, III. 1982. *The ecology of the mangroves of south Florida: a community profile* U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington D.C. FWS/OBS-81/24.
- Gaona Pineda, O. 2007. Consideraciones ambientales y prospección para la restauración de un ecosistema de manglar al Sureste de la Reserva de la Biósfera los Petenes, Campeche. Universidad Nacional Autónoma de Campeche.
- Rico-Gray, V. y A. Lot-Helgueras. 1983. *Producción de hojarasca del manglar de la Laguna de la Mancha, Veracruz, México*. *Biótica* 8: 295-301.
- Rodríguez-Ramírez, A., J. Nivia Ruíz y J. Garzón-Ferreira. 2004. *Características estructurales del manglar de Avicennia germinans en la Bahía de Chengue (Caribe Colombiano)*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). Santa Marta, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* Vol. 868. Número especial 33: 223-244.

- Saenger, P. 1982. Morphological, anatomical and reproductive adaptations of Australian mangroves. In: Mangrove ecosystems in Australia (Ed. B.F. Clough), Australian National University Press, Canberra, pp.153-191.
- Saenger, Peter.2002. Ecología, silvicultura, y conservación del mangle. Editores académicos de Kluwer, Dordrecht. ISBN 1-4020-0686-1.
- Satyamarayana, B., A.V. Raman, F. Dehairs, C. Kalavati and P. Chandramohan. 2002. Mangrove floristic and zonation patterns of Coringa, Kakinada Bay, east coast of India. *Wetlands Ecology and Management*, 10, 25-39.
- 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. (Eng.) New World mangrove. LM. Salt, Mangroves, Avicenniaceae Verbenaceae, root systems (PM, 186103459).
- Sonnevelt y Van Den Ende. 1971. Soil analysis by means of a 1:2 volume extract. *Plan and Soil* 35:506-516.
- Suprayogi B. y Murray F. (1999). A field experiment of the physical and chemical effects of two oils on mangroves. *Environ. Exp. Bot.* 42, 221–229.
- Toledo Ocampo A (2005). Marco Conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México, p. 25-52. In: AV Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2da. Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal. Autón. De México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Tomlinson, P.B. 1986. *The botany of mangroves*. Cambridge University Press. Cambridge. 413 p.
- Tovilla, H.C. 1991. Costa occidental de Baja California: oceanografía geológica. Pp. 403-447, in *Oceanografía de mares mexicanos* (de la Lanza, Comp.) AGT Editor, México, D.F. 569 pp.
- Twilley R.R., S.C. Snedaker, A. Yañez Arancibia y E. Medina. 1996. Biodiversity and ecosystem process in tropical estuaries: Perspectives of mangrove ecosystem, p. 327-370. In: H. Mooney, HJ. Cushman, E. Medina, E.O. Sales y E.D. Schulze (Eds.) *Biodiversity and Ecosystems Functions:A Perspective* John Wiley and Sons, N. Y. 670 p.
- Ulloa Delgado, G.A.; W. O. Gil-Torres; J.C. Pinto-Rengifo y H. Rodríguez-Cruz. 1998a. *Manual sobre técnicas de vivero y restauración de áreas de manglar del Caribe*

colombiano. Proyecto PD 171/91 Rev.2 Fase II (Etapa I) Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los manglares en Colombia, MMA/ACOFOR/OIMT, Santa Fe de Bogotá D.C, Colombia. 24 p.

- Villalobos Zapata, G. J., A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day Jr. y A. L. Lara-Domínguez, 1999. Ecología y manejo de los manglares en la Laguna de Términos, Campeche, México, p. 263-274. *In*: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.
- Woodroffe, C.D. 1983. Development of mangrove forests from a geological perspective. *In*: Teas, H.J. (Ed.), *Tasks for vegetation science* Vol. 8, Dr W. Junk, The Hague, pp. 1-17.
- Woodroffe, C.D., 1992: Mangrove sediments and geomorphology. *In*: Robertson, A.I. and D.M. Alongi (Eds.), *Tropical mangrove ecosystems*. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 7–41.
- Zetina-Tapia, R.H. 2003. Percepción Remota y sistemas de Información geográfica como herramienta para evaluar los procesos de cambio de la cobertura del suelo en el Área de Protección de Flora y Fauna “Laguna de Términos” y su área adyacente. Tesis de licenciatura. Biología Marina, Fac. De Cien. Químico – Biológicas, Univ. Autón. De Campeche. Campeche, Campeche, México. 83p.