Informe final* del Proyecto KN001
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. Estado de Campeche. Segunda etapa*

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:	clmagraz@uacam.mx
Teléfono/Fax:	01981 811 9800 ext 62305; fax: 01981 811 9800 ext. 62399

Fecha de inicio:	Abril 15, 2013.
Fecha de término:	Diciembre 18, 2017.
Principales resultados:	Hojas de cálculo, fotografías, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:**	Agraz-Hernández C.M., Osti Sáenz, J., Keb-Chan, C., Conde-Medina, K.P., Kumul-Martínez, G., Martínez, G., Reyes-Castellanos, J., Herrera-May, C. y A. Martínez. 2017. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. **Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No.KN001**. Ciudad de México.

Resumen:

En estados como Campeche, las actividades productivas y el desarrollo económico están íntimamente relacionados con la costa. El turismo, la pesca, acuacultura, desarrollo industrial, desarrollo urbano y transporte marítimo, que destacan como impulsoras de su economía, dependen de forma directa o indirecta de los ecosistemas costeros, entre ellos el manglar. Los manglares representan la vegetación costera dominante en las regiones tropicales y subtropicales. Las tendencias actuales en el estudio de los manglares están dirigidas a las relaciones estructurales y funcionales en diferentes escalas espaciales y temporales, destacando su conectividad con otros sistemas, la biogeoquímica de los sedimentos, su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar, y el potencial de reclutamiento natural e inducido ante impactos antrópicos y eventos naturales. De aquí la relevancia de ampliar la realización de este proyecto. Se propone continuar con el monitoreo de las parcelas de manglar localizadas a lo largo de la zona costera de Campeche, ampliando de esta manera el tiempo del proyecto "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: Campeche". El proyecto 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 el 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.

- * 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 MULTI-INSTITUCIONAL CAMPECHE. SEGUNDA ETAPA” KN001

PARTICIPANTES:

Claudia M. Agraz Hernández
Juan Osti Sáenz
Jordán Efrén Reyes Castellanos
Carlos Chan Keb
Kenia Paolha Conde Medina
Gerardo Martínez Kumul
Gilberto Martínez Muñoz
Cinthia I. May Herrerra
Sor Juana Guzmán Jiménez
Adriana Gregorio Cortes
Eleuterio Chan Canul

CONTENIDO

CONTENIDO DE FIGURAS iii
CONTENIDO DE TABLA ix
I. RESUMEN 12
II. INTRODUCCIÓN 14
III. OBJETIVO GENERAL 23
3.1 Objetivos particulares 23
IV. TÉCNICAS Y MÉTODOS 24
4.1. COMPONENTE I: CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA Y AMBIENTAL 25
4.1.1. Caracterización de la vegetación−grado de desarrollo−condición ambiental 25
4.1.1.1. La caracterización estructural de una comunidad de manglar. 25
4.1.1.2. Regeneración potencial: 26
4.1.1.3. Neumatóforos: 26
4.1.1.4. Productividad primaria: 27
4.1.1.5. Análisis de datos: 28
4.1.1.6. Identificación de Indicadores: 28
4.1.2 Caracterización ambiental 29
4.1.2.1. Microtopografía: 29
4.1.2.2. Clima: 30
4.1.2.3. Reguladores del suelo: 30
4.1.2.4. Recursos de los suelos: 30
4.1.2.5. Diagnóstico: 30
4.2. COMPONENTE II: MONITOREO 31
V. RESULTADOS 32
5.1. FASE DE CARACTERIZACIÓN 33
5.1.1. Estructura forestal y tipos fisonómicos de los bosques de manglar al inicio (2013) y final (2016) del proyecto KN001 33
5.1.3. Microtopografía de los bosques de manglar en los sitios de estudio 48
5.1.3. Niveles de inundación (neumatóforos y lenticelas) 50
5.1. FASE DE MONITOREO MENSUAL 51
5.2.1. Parámetros químicos del agua intersticial 51
5.2.2. Parámetros biológicos 65

5.2.2.1. Productividad en términos de hojarasca 65
5.2.2.2. Productividad en términos de biomasa radicular 90
5.2.2.3. Regeneración potencial 102
5.2.2.3.1 Juveniles 102
5.2.2.3.2 Plántulas 106
5.2.3. Escenarios ambientales 109
5.2.4. Características edafológicas del sedimento del manglar 110
5.2.4.1. Características químicas del suelo Nutrientes en la turba de manglar en los diferentes bosques (nitrógeno y fósforo total) 111
5.2.4.2. Parámetros químicos del sedimento 117
5.2.4.3. Densidad aparente 121
5.2.4.4. Materia orgánica 124
VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS 129
6.1. Análisis de componentes principales entre los años 2014 y 2015 129
VII. REFERENCIAS 134

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Uso/cubierta del suelo del ANPFFLT para 1991 (Villalobos Zapata et al., 2007). 17

Figura 2. Distribución geográfica de las localidades establecidas para la caracterización y monitoreo de manglares en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Champotón y Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. 20

Figura 3. Diseño de parcelas de 20 m x 20 m (para realizar solamente una medición de estructura de la vegetación al inicio y otra al final del proyecto) donde se incluye a la parcela de 10 m x 10 m que se implementó en la primera etapa y donde se han monitoreado adultos, juveniles (parcela de 5x5 m) y plántulas (parcela de 1x1 m). La segunda parcela de 10 m x 10 m a la derecha es una repetición de la que está inserta en la parcela de 20 m x 20 m. 25

Figura 4. Colecta de neumatóforos mediante cuadrantes de 0.25m^2 en las parcelas permanentes de 10 x 10 m. Daniela Guzmán Ramírez.....27

Figura 5. Determinación de la distribución microtopografíca en los bosques de mangle que bordean el litoral del estado de Campeche. Claudia Maricusa Agraz Hernández. 29

Figura 6. Atributos forestales en siete sitios con mangle que bordean la línea a de costa del estado de Campeche, a través de perfiles al inicio del proyecto (Noviembre 2013). F1= bosque que bordea la línea de costa. F2= bosque interno.....35

Figura 7. Atributos forestales en siete sitios con mangle que bordean la línea a de costa del estado de Campeche, a través de perfiles al final del proyecto (Noviembre 2016). F1= bosque que bordea la línea de costa. F2= bosque interno.....36

Figura 8. Características ambientales de los bosques de mangle en Sabancuy, Campeche. (a) Bosque mixto de R. mangle y A. germinans. (b) Mediciones de parámetros fisicoquímicos del agua intersticial en un bosque mixto de R. mangle y A. germinans, por Gilberto Martínez. 39

Figura 9. Índice de valor de importancia de tres especies de mangle presentes en los bosques que bordean el litoral e internos en el estado de Campeche. México, al inicio del proyecto KN001 (Noviembre 2013). a) Bosque que bordea la linea de costa. b) Bosque interno.....40

Figura 10. Índice de valor de importancia de tres especies de mangle presentes en los bosques que bordean el litoral e internos en el estado de Campeche. México, al final del proyecto KN001 (Noviembre 2016). a) Bosque que bordea la linea de costa. b) Bosque interno.....41

Figura 11. Características ambientales de los bosques de mangle en Xibujá, Campeche. (a) Bosque tipo borde de Avicennia germinans. (b) Bosque de mixto de Rhizophora mangle y A. germinans, con fisonomia borde con tendencia cuenca. Recolección de la hojarasca por Jordán Reyes Castellano.....42

Figura 12. Características ambientales de los bosques de mangle en Estero Pargo, Campeche. (a) Extracción de núcleos para la determinación de nitrógeno y fósforo total en un

bosque ribereño de R. mangle. Extracción de núcleos por Carlos Chan Keb. (b) Bosque de A. germinans tipo borde con tendencia cuenca. 43

Figura 13. Características ambientales de los bosques de mangle en Atasta, Campeche. (a) Mediciones para la determinación del crecimiento de juveniles en R. mangle, por Juan Ósti Sáenz. (b) Bosque de R. mangle tipo Ribereño en Atasta, Campeche. 44

Figura 14. Características ambientales de los bosques de mangle en Champotón, Campeche. (a) Colecta de hojarasca en un bosque mixto de R. mangle. L. racemosa y A. germinans, por Juan Osti Saénz. (b) Medición del diámetro de un árbol de R. mangle, por Jordan Reyes Castellano.....45

Figura 15. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. (a) Medición del diámetro de un árbol de R. mangle por las biólogas Yarely Cach Ruíz y Kenia Paolha Conde Medina. (b) Canasta de defoliación en un bosque con R. mangle. (c) Claros en el bosque interno de Petén Neyac en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche. 47

Figura 16. Características ambientales del perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. (a) Bosque mixto de A. germinans, R. mangle y L. racemosa, tipo borde ubicado en la línea de costa. (b) Bosque monoespecifico de A. germinans tipo matorral con tendencia cuenca. 48

Figura 17. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa ubicado en Xibujá en la laguna de Términos, Campeche. 53

Figura 18. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno ubicado en Xibujá en la laguna de Términos, Campeche. 54

Figura 19. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa del perfil de vegetación en Estero pargo en la laguna de Términos, Campeche. 55

Figura 20. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación en Estero pargo en la laguna de Términos, Campeche. 55

Figura 21. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a línea de costa ubicado en Sabancuy en la laguna de Términos, Campeche. 56

Figura 22. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno ubicado en Sabancuy en la laguna de Términos, Campeche. 57

Figura 23. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en un bosque que bordea la línea de costa ubicado en Atasta en la laguna de Términos, Campeche. 58

Figura 24. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea al canal del Río en Champotón, Campeche. 59

Figura 25. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación en Champotón, Campeche. 59

Figura 26. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa del perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. 61

Figura 27. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. 61

Figura 28. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa del perfil de vegetación ubicado en Río Verde, Campeche. 62

Figura 29. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación ubicado en Río Verde, Campeche. 62

Figura 30. Producción total anual de hojarasca en bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche durante tres ciclos anuales (a) 2014, b) 2015) y c) 2016 (enero a noviembre del 2016). F1=bosque borde. F2= bosque interno. 66

Figura 31. Producción de hojarasca por árboles de Rhizophora mangle a través de un perfil de vegetación ubicado en Sabancuy, en la laguna de Terminos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 72

Figura 32. Producción de hojarasca por árboles de A. germinans a través de un perfil de vegetación ubicado en Sabancuy en la laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 73

Figura 33. Producción de hojarasca por árboles de L. racemosa a través de un perfil de vegetación ubicado en Sabancuy en laguna de Términos, Campeche. b) Bosque interno. 74

Figura 34. Producción de hojarasca por árboles de R. mangle a través de un perfil de vegetación ubicado en Xibujá en a laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 75

Figura 35. Producción de hojarasca por árboles de A. germinans en un perfil de vegetación ubicados en Xibujá en la laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 76

Figura 36. Producción de hojarasca por árboles de R. mangle en un perfil de vegetación ubicado en Estero Pargo en laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 78

Figura 37. Producción de hojarasca por árboles de A. germinans en un perfil de vegetación ubicado en Estero Pargo en laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 79

Figura 38. Producción de hojarasca en árboles de L. racemosa en un perfil de vegetación ubicado en Estero Pargo en la laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 80

Figura 39. Producción de hojarasca en un bosque de mangle mixto que bordea la línea de costa en la localidad Atasta, laguna de Términos, Campeche, L.racemosa. 80

Figura 40. Producción de hojarasca en un bosque de mangle mixto con dominancia de R. mangle que bordea la línea de costa en la localidad Atasta, laguna de Términos, Campeche. 81

Figura 41. Producción de hojarasca en un bosque de mangle mixto que bordea la línea de costa en la localidad Atasta, laguna de Términos, Campeche, A. germinans. 81

Figura 42. Aporte anual de hojarasca de R. mangle en los dos tipos de bosque que conforman el perfil de vegetación del sitio Champotón: a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 82

Figura 43. Producción de hojarasca por árboles de A. germinans en un perfil de vegetación ubicado en Champotón, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 83

Figura 44. Aporte de hojarasca en árboles de L. racemosa ubicados en un perfil de vegetación ubicado en Champotón, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 84

Figura 45. Producción de hojarasca por árboles de R. mangle en un perfil de vegetación ubicados en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 85

Figura 46. Aporte de hojarasca por árboles de A. germinans en un perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 86

Figura 47. Producción de hojarasca por árboles de L. racemosa en un perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 87

Figura 48. Producción de hojarasca por árboles de R. mangle en un perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa. 88

Figura 49. Producción de hojarasca por árboles de A. germinans en un perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno. 89

Figura 50. Producción de hojarasca por árboles de L. racemosa en un perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa. 90

Figura 51. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero (Nov-2013), b) tiempo 1 (Nov.-2014), c) tiempo 2 (Nov.-2015). 91

Figura 52. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en río Verde en la Reserva de la Biosfera Los

Petenes. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero (Nov-2013), b) tiempo 1 (Nov.-2014), c) tiempo 2. 92

Figura 53. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Champotón. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero (Nov.-2013), b) Tiempo 1 (Nov.-2014), c) Tiempo 2 (Nov.-2015). 93

Figura 54. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Sabancuy, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero, b) Tiempo 1, c) Tiempo 2. 94

Figura 55. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Xibujá, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) tiempo cero (Nov.-2013), b) tiempo 1 (Nov.-2014), c) tiempo 2 (Nov.-2015). 95

Figura 56. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Estero Pargo, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero, b) Tiempo 1, c) Tiempo 2. 96

Figura 57. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Atasta, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero, b) Tiempo 1, c) Tiempo 2. 97

Figura 58. Gráfica de interacción para diámetros de raíz de 0.0 a 0.2 cm por sitio y tiempo (T1 y T2). 100

Figura 59. Gráfica de interacción para diámetros de raíz de 0.21 a 0.5 cm por sitio y tiempo (T1 y T2). 101

Figura 60. Gráfica de interacción para diámetros de raíz de 0.51-2.5cm por sitio y tiempo (T1 y T2). 101

Figura 61. Precipitación total de agosto de 2013 a junio de 2016 en siete estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo del litoral del Estado de Campeche. México. Datos obtenidos de la CONAGUA. *Datos pendientes por proporcionar la CONAGUA. 110

Figura 62. Gráfica de interacción para el porcentaje de fósforo total en sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio. 112

Figura 63. Gráfica de interacción para el porcentaje de nitrógeno total en sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio. 117

Figura 64. Gráfica de interacción para la densidad de sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio. 124

Figura 65. Gráfica de interacción para el procentaje de materia orgánica en sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio. 128

Figura 66. Subregiones de los bosques de mangle que bordean la línea costera y a través de perfiles de vegetación en el estado de Campeche, con base a la estructura forestal, características fisicoquímicas del agua intersticial (salinidad, potencial redox, pH y temperatura) durante los años 2014 y 2015.....130

CONTENIDO DE TABLA

Tabla 1. Prueba de MANOVA entre la densidad y el área basal de los bosques de manglar en los siete sitios que bordean el litoral de Campeche y años de estudio (2013 y 2016). Con un nivel de significancia de α= 0.05. 37

Tabla 2. Índice de complejidad de los bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche, en las parcelas 20 x 20 m durante los años 2013 y 2016.....37

Tabla 3. Índice de complejidad de los bosques de mangle bordean el litoral de Campeche, en las parcelas 10x10 m durante los años 2013 y 2016. 38

Tabla 4. Distribución del nivel microtopográfico a través de perfiles de vegetación en los bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche. 50

Tabla 5. Densidad y altura de neumatóforos, y número de lenticelas de los bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche. Franja 1: bosque borde. Franja 2: bosque interno. 51

Tabla 6. ANOVA de 3 vías de prámetros fisicoquímicos, factor 1 con 7 niveles: sitios (Petén Neyac, Río Verde, Champotón, Xibuja Sabancuy, Estero Pargo y Atasta) factor 2 con 3 niveles: Épocas del año (lluvia, norte y seca); factor 3 con 3 niveles: años (2014, 2015 y 2016) en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial del litoral del estado de Campeche con un nivel de significancia α=0.05*, α=0.0001** .64

Tabla 7. ANOVA de 3 vías de prámetros fisicoquímicos, factor 1 con 7 niveles: sitios (Petén Neyac, Río Verde, Champotón, Xibuja Sabancuy, Estero Pargo y Atasta) factor 2 con 3 niveles: Épocas del año (lluvia, norte y seca); factor 3 con 3 niveles: años (2014, 2015 y 2016) en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial del litoral del estado de Campeche con un nivel de significancia α=0.05* 64

Tabla 8. ANOVA de 3 vías, factor 1con 7 niveles: sitios de muestreo (Pete Neyac, Río Verde, Champotón, Xibujá Sabancuy, Estero Pargo y Atasta), factor 2 con 3 niveles: años de muestreo (2014, 2015 y 2016); factor 3 con 3 niveles: Épocas de los años (Lluvia, Seca, Norte) en la producción fenológica de R.mangle ($g.m^{-2}.día^{-1}$) del litoral del estado de Campeche con nivel de significancias (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001). 69

Tabla 9. ANOVA de 3 vías, factor 1con 7 niveles: sitios de muestreo (Pete Neyac, Río Verde, Champotón, Xibujá Sabancuy, Estero Pargo y Atasta), factor 2 con 3 niveles: años de muestreo (2014, 2015 y 2016); factor 3 con 3 niveles: Épocas de los años (Lluvia, Seca, Norte) en la producción fenológica de A. germinans ($g.m^{-2}.día^{-1}$) del litoral del estado de Campeche con nivel de significancias (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001). 70

Tabla 10. ANOVA de 3 vías, factor 1con 7 niveles: sitios de muestreo (Peten Neyac, Río Verde, Champotón, Xibujá Sabancuy, Estero Pargo y Atasta), factor 2 con 3 niveles: años de muestreo (2014, 2015 y 2016); factor 3 con 3 niveles: Épocas de los años (Lluvia, Seca, Norte) en la producción fenológica de L.racemosa ($g.m^{-2}.día^{-1}$) y hojarasca total del litoral del estado de Campeche con nivel de significancias (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001).....70

Tabla 11. Producción de biomasa radicular en el tiempo inicial (T0: nov.-2013), T1 (12 meses: nov.-2014), T2 (24 meses: nov.-2015) a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle a lo largo del litoral de Campeche, Campeche. 99

Tabla 12. ANOVA de 2 vías, factor 1 con 7 niveles: sitios (Peteneyac, Río Verde, Champotón, Xibuja, Sabancuy, Estero Pargo y Atasta) factor 2 con 2 niveles: tiempo de muestreo (12 y 24 meses) en la producción de biomasa de raíz del litoral del estado de Campeche con un nivel de significancia α=0.05* 100

Tabla 13. Tasas de crecimiento en 1,065 días plántulas y juveniles de mangle en parcelas de 1x1 m y 5x5m respectivamente, durante el año 2013 y 2016, en siete sitios localizados a lo largo del litoral del estado de Campeche. [1]Área de Protección de Flora Fauna laguna de Términos y [2]Reserva de la Biosfera Los Petenes. 105

Tabla 14. Crecimiento diametral promedio del 2014 al 2016 (por arriba y por debajo de 1.30 m de la altura del árbol) en siete perfiles de mangle ubicados a lo largo del litoral del estado de Campeche. 109

Tabla 15. Estaciones meteorológicas con mayor injerencia en las siete estaciones en estudio. 109

Tabla 16. Porcentaje inicial de fósforo total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Noviembre- Diciembre 2013). 113

Tabla 17. Porcentaje final de fósforo total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Diciembre 2016). 114

Tabla 18. Porcentaje inicial de nitrógeno total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Noviembre-Diciembre del 2013). ..115

Tabla 19. Porcentaje final de nitrógeno total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Diciembre 2016). 116

Tabla 20. Promedio de los parámetros químicos por horizonte en el sedimento a lo largo de los perfiles de mangle en diferentes zonas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Término (APFFLT) y la Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP. Noviembre de 2013). 119

Tabla 21. Promedio de los parámetros químicos por horizonte en el sedimento a lo largo de los perfiles de mangle en diferentes zonas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Término (APFFLT) y la Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP. Diciembre de 2016). 120

Tabla 22. Densidad aparente inicial en sedimento de mangle, por estratos a lo largo del litoral del Estado de Campeche (Noviembre-diciembre 2013).....122

Tabla 23. Densidad aparente final en sedimento de mangle, por estratos a lo largo del litoral del Estado de Campeche (Diciembre 2016). 123

Tabla 24. Concentración inicial de la materia orgánica (%) por horizonte en el sedimento de mangle, por localidad y sitios del Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche y la Reserva de la Biosfera los Petenes (Noviembre 2013).....126

Tabla 25. Concentración final de la materia orgánica (%) por horizonte en el sedimento de mangle, por localidad y sitios del Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche y la Reserva de la Biosfera los Petenes (Diciembre de 2016). 127

Tabla 26. ANOVA de dos vías de parámetros en sedimento durante el período de noviembre de 2013 a noviembre de 2016, en los sitios que bordean el litoral de Campeche (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001). 128

Tabla 27. Valores de F y nivel de significancia (NS, no significativo; *p<0.1; **p<0.05, *** p<0.001) del ANOVA de tres vías en los efectos de localidad (A), franja (B), época del año (C) en parámetros fisicoquímicos de las localidades del estado de Campeche. 131

I. RESUMEN

Este proyecto tuvo como propósito principal el continuar con el monitoreo de los sitios de manglar en la Reserva de la Biosfera los Petenes (RBLP), Champotón y Área de Protección de Flora y Fauna, Laguna de Términos (APFyFLT), Campeche a partir de octubre del 2013 a diciembre del 2016, aplicando los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo. Con el fin de evaluar los cambios estructurales y funcionales de los ecosistemas de mangle y enriquecer la base de datos de una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano.

Se realizó la compra de materiales y equipo de campo, se elaboraron 65 canastas para determinar la producción de hojarasca y 54 sacos con peat moss para la evaluación de la producción de raíces. En el mes de noviembre de 2013 se instaló el material en campo (con excepción de Atasta y Champotón que se efectuó en diciembre de 2013). Se reinstalaron en las localidades de estudio 4 parcelas de 10 x 10 m y 20 x 20 m, dónde se determinó la estructura forestal, georreferenciándo solo los cuatro vértices para las parcelas de mayor dimensión. Aunado a las actividades antes descritas en los sitios de estudio, se etiquetaron todos los árboles en las parcelas de 10 x 10 m y solo 10 árboles correspondientes al diámetro de mayor frecuencia en las parcelas de 20 x 20 m; para el monitoreo sobre el crecimiento diametral. Es importante mencionar que en la localidad de Petén Neyac, se colocaron en diciembre del 2013, dos parcelas de 10 x 10 m y una de 20 x 20 m y para el 10 de octubre del 2014 una parcela de 20 x 20 m, puesto que fue necesario localizar un sitio con atributos forestales lo mas similar posible. Así mismo, en el mes de diciembre del 2013 se instalaron 4 parcelas de 5 x 5 m y 1 x 1 m para establecer el crecimiento de juveniles y plántulas de mangle en todas las estaciones (con excepción de Peten Neyac en dónde la parcela 4 fue instalada hasta el 10 de octubre de 2014). Se colectó un núcleo de sedimento por cada parcela de 20 x 20 m (4 por localidad). Con excepción de Atasta que fueron dos, para la caracterización edafológica del suelo; y de manera simultánea se instalaron dos sacos de peat moss en cada una de las parcelas de los sitios. En la sección de ecología, se muestreó mensualmente la productividad en términos de hojarasca, la regeneración potencial de plántulas y juveniles, y anualmente el incremento diametral y producción de raíz. En la

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

sección de monitoreo se colectaron *in situ* los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial desde el mes de noviembre del 2013 hasta noviembre de 2016. En el caso de los escenarios ambientales, se solicitó a la CONAGUA los datos climatológicos (precipitación y temperatura ambiental) de septiembre de 2013 a diciembre de 2016 en las estaciones con injerencia en las áreas en estudio.

La base de datos del proyecto fue actualizada y los resultados fueron presentados en la catedra de Restauración Ambiental en los años 2013 y 2016, Limnología en el 2015 y en Ecología II de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. Asimismo, en la catedra Estructura y función en los años 2015 y 2016 de la maestría Multidisciplinaria para el Manejo de la Zona Costera-Marina del Instituto EPOMEX. Se publicó parte de la información generada en un capítulo del libro y en los siguientes congresos: 1) Tercer congreso nacional de manglares 2014, realizado en Puerto Vallarta, 2) XIV Congreso Internacional y nacional de ciencias ambientales 2015, efectuado en Puebla, 3) Congreso del 2016 realizado en Oaxaca. Lo anterior, como parte de la difusión científica que compete al proyecto. Se publicó un artículo con parte de los datos generados en la primera fase de este proyecto, aceptada en el año 2015 en la revista Hidrobiológica, se envió un artículo a la revista Journal of Coastal and Conservation donde se establece los efecto de la extrema sequía del 2009 en la producción de la hojarasca y la fenología en tres especies de mangle; y finalmente, se esta preparando un artículo con datos del 2009 hasta 2016 (fase I y II) de este proyecto, que será sometido a la brevedad posiblemente en una revista indizada.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

II. INTRODUCCIÓN

El estado de Campeche se localiza al sureste de la República Mexicana y forma parte de los estados que comprende 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 (2007) menciona que los estados de Tabasco y Campeche concentran la mayor extensión de humedales costeros de México y estos a su vez son considerados como la unidad ecológica costera más importante de Mesoamérica, por su productividad natural y biodiversidad. Actualmente, el estado de Campeche representa el 25% de la cobertura de manglar a nivel nacional (el segundo más importante), con una extensión total de 117,314 ha. Los manglares en este litoral se concentran en la Laguna de Términos, decretada como Área Natural Protegida Laguna de Términos, Champotón, así como en la Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP).

En específico, la Reserva de la Biosfera Los Petenes, forma parte de una ecorregión que involucra a la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y al área natural protegida estatal el Palmar, en el estado de Yucatán; contribuyendo estos 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 los de mayor extensión, tamaño y buen estado de conservación en todo el país. En la RBLP se localizan los Petenes (hábitats complejos desarrollados como islas de vegetación variada). Por otra parte, es relevante mencionar que la RBLP fue declarada como sitio RAMSAR por presentar los ecosistemas de Petenes. Puesto que estos se localizan solo en tres partes del mundo; Península de Yucatán, Cuba y en la Península de Florida, reconociéndose su valor como humedal de importancia internacional. Asimismo, la RBLP 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 (RMP No. 60, Champotón-El Palmar), Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP No. 102. Anillo de Cenotes), y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves-AICAS (Petenes, Clave de la AICA SE-28).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Los manglares ocupan aproximadamente el 50 % de la superficie terrestre de la RBLP, por lo tanto, es el tipo de vegetación que domina en la cobertura vegetal. Sus principales componentes son el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle negro (*Avicennia germinans* L. (L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn f.) y, botoncillo (*Conocarpus erectus* L.).

En toda su superficie, la RBLP presenta un bajo deterioro ambiental, estimado en 30%. Existen dos asentamientos humanos de la zona urbana en la ciudad de Campeche que impactan de manera directa a los manglares, las unidades habitacionales Palmas I, II, y III, Fidel Velásquez y Solidaridad Nacional.

Por otra parte, el Área Natural Protegida Laguna de Términos, está ubicada entre los paralelos 18º 23´ y 18º 52´ norte y los meridianos 91º 10´ y 91º 52´ oeste, con una superficie total de 705,016.5125 ha. Este sistema lagunar estuarino es considerado como el de mayor volumen y extensión del país, comprendiendo desde la plataforma continental marina adyacente, las bocas de conexión con el mar; la Isla del Carmen; los espejos de agua dulce, salobre y estuarino-marino; las zonas de pastos sumergidos; los sistemas fluvio-deltáicos asociados; los pantanos o humedales costeros y los bosques de manglar circundantes (EPOMEX, 1993). Esta laguna se encuentra comunicada al noroeste con las lagunas Aguada y Sabancuy y al suroeste con las lagunas San Carlos, Pom y Atasta; hacia su margen continental hay tres estuarios llamados localmente lagunas del Este, Balchacah y Panlau, donde desembocan los ríos Palizada, Chumpán y Candelaria, respectivamente. La laguna presenta una superficie de aproximadamente 1,400 km^2 (De la Lanza-Espino *et al.*, 1991) (**Fig. 1**).

La laguna se comunica al Golfo de México a través de dos bocas naturales, desarrollándose en estas deltas intermareas dispuestos, uno en la Boca de Puerto Real y acrecentando hacia el interior de la laguna y otro, en la Boca del Carmen dirigido al Golfo de México (Gutiérrez Estrada, 1988). Con respecto a la batimetría, ésta laguna se considera somera con una profundidad promedio de 1.5 m, con una forma elipsoidal y un eje mayor paralelo a la línea de costa de aproximadamente de 60 km. Al noroeste se localiza una boca con profundidades no mayores a los 5 m (entre la Isla del Carmen y Aguada). En la parte sureste entre la Isla

del Carmen y Punta Zacatal, presenta una profundidad menor a 4 m; el resto de la laguna no supera los 2 m de profundidad. Los sedimentos lagunares son esencialmente arenas finas, arcillas-limosas y arenas-limo-arcillosas. Las seis clases principales de suelo que presenta la región de la Laguna de Términos son Gleysol Eútrico y Mólico, Feozenm Calcárico, Solonchack Gléyico, Regosol Eútrico Calcárico y Vertisol Pélico. Estos suelos soportan el desarrollo de muy diversas comunidades vegetales como selva mediana perennifolia, el pastizal, el popal-tular y el manglar (**Fig. 2**. INEGI, 1979).

Desde el punto de vista hidrológico, en la región de la Laguna de Términos convergen tres ríos. Al sureste el río Candelaria que desemboca en la laguna de Panlau y se conecta con la laguna a través de una boca de 40 m de ancho. El río Chumpán vierte sus aguas en la laguna Balchacah y se comunica con la laguna, por medio de una boca con un ancho de 80 m. El río Palizada, vierte sus aguas en el lago del Este y San Francisco, sus aguas se conectan con la laguna de Términos, por medio de una boca de 75 m de ancho (Cruz Orozco *et al.*, 1977).

Los tipos de mareas en la Laguna de Términos es mixto diurno; el rango entre la pleamar media y la bajamar media en la Isla del Carmen es de 0.43 m, y el promedio de la pleamar máxima es de 0.40 y 0.70 m. De manera histórica la pleamar máxima y la bajamar mínima ha sido de 0.93 y 0.80 m, respectivamente (EPOMEX, 1993).

Diversos autores a partir de 1980 iniciaron estudio sobre el entorno ambiental de los ecosistemas de mangle, su estructura, distribución, funcionalidad básica, identificación y entradas de energía, balance de masa de los nutrientes y la función de los manglares en el ciclo integral de los nutrientes en la zona costera (Day *et al.*, 1982; Yánez Arancibia y Day 1982; Ley Lou 1985; Day *et al.*, 1987; Day *et al.*, 1988; Rivera Monroy *et al.*, 1995; Day *et al.*, 1996, Twilley 1988 y Yáñez Arancibia y Lara Domínguez,1999).

El Área de Protección de Flora y Fauna de Laguna de Términos presenta asociaciones vegetales acuáticas y terrestres con alta biodiversidad, identificándose 374 especies de plantas y 1,468 de fauna, donde en su mayoría han sido explotadas tradicionalmente desde los tiempos prehispánicos por los pobladores ubicados dentro del área. La vegetación circundante está integrada principalmente por cuatro especies de manglar *R. mangle* (mangle

rojo), *A. germinans* (mangle negro), *L. racemosa* (mangle blanco) y *C. erectus* (mangle botoncillo). Donde los árboles de los bosques de *R. mangle* en las zonas de Atasta, Río San Pedro, la desembocadura del 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 puede encontrar manglares tipo matorral con alturas no mayores a 1.5 m, con dominancias de *R. mangle*, sobre un suelo cárstico expuesto (Agraz-Hernández, 2005-2007).

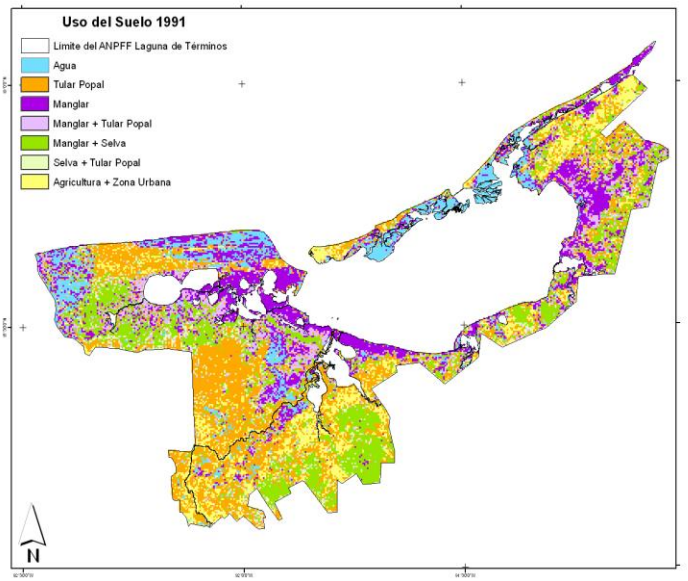

Figura 1. Uso/cubierta del suelo del ANPFFLT para 1991 (Villalobos Zapata et al., 2007).

En la región de la Laguna de Términos, en particular para los ecosistemas de manglar y la zona 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 adyacentes a la Laguna de Términos.

Esta laguna a su vez se localiza adyacente a la Sonda de Campeche que es 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, protege y conserva la línea de costa contra procesos de erosión y fenómenos meteorológicos y contribuyen con el

mantenimiento del microclima (Zetina-Tapia, 2003). Por otra parte, esta laguna representa un área de crianza, alimentación y crecimiento de post-larvas y juveniles del camarón blanco y café. Asimismo, la laguna de Términos y los Pantanos de Centla conforman 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 ha sido impactada 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). Considerándose estas actividades como los principales factores económicos que han influido e influyen en la distribución y permanencia de los hábitats críticos, limitando la productividad biológica y afectando la vida silvestre.

El proyecto conservación, restauración y manejo de los manglares de Campeche se ha venido implementando desde el 2000, por parte del Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX, UAC), el Área Natural Protegida Lagunar de Términos, la Reserva de la Biosfera los Petenes, la CONANP y la ONG´S Amigos de Hampolol. Así como, diversas instituciones nacionales e internacionales han colaborado para ello (UNAM, INE, Universidad de Barcelona, Universidad de Saint Mary). A la fecha esta investigación ha establecido en zonas locales diagnósticos ambientales y monitoreos en espacio y tiempo en los ecosistemas de mangle de la Laguna de Términos Campeche a partir del 2003, en la Reserva de la Biosfera Los Petenes iniciando en el 2002, los manglares de Champotón e Icahao en el 2006 y 2010, respectivamente. Por otra parte, se determinó y evaluó un área susceptible a restauración en un bosque de mangle muerto de 104.0 ha; restaurando hidrológicamente y reforestando parte del área (20 ha), con plántulas de *A. germinans*, con una supervivencia del 93%. Todo ello a través de la selección, acondicionamiento y concentración de plántulas y propágulos en zonas de acopio temporal y la construcción de canales artificiales, incluyendo un programa de mantenimiento, seguimiento y evaluación de la restauración/reforestación. Además de 600 ha restauradas a través de la construcción de canales y lagunas artificiales en la Reserva de la Biosfera de los Petenes.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Lo anterior, con la finalidad de establecer en un futuro un programa permanente de capacitación y transferencia tecnología se han desarrollado eventos de capacitación a nivel postgrado, licenciatura, primaria, funcionarios de CONAFOR, ANPLT, PROFEPA sobre la ecología, conservación, restauración y reforestación del ecosistema de mangle. Así como, la capacitación de jornaleros ("*mangleros*"), como una alternativa de trabajo para las comunidades ribereñas. Debido a la importancia económica, ecológica y social que presentan estos recursos. Como resultado de ello, se han publicado dos libros, un capítulo de libro y se ha generado infraestructura y especialistas a nivel licenciatura en las Carreras de Ing. Química del Tecnológico de Campeche, Ing. Ambiental, Biólogos Marinos de la UAC y de la maestría en Restauración Ambiental. INE-UNAM. Por otra parte, esto ha generado colaboraciones con la CONAFOR, como fondos de contraparte para desarrollar proyectos colaterales, tales como: "Lineamientos básicos para los programas de restauración, manejo sostenido y caracterización de los efectos tóxicos de petróleo en plántulas de manglar".

Así mismo, se han desarrollado proyecto de transferencia tecnológica sobre la investigación y aplicación de productos biorracionales y agroquímicos para la reforestación en tres especies de manglar. Debido a la falta de información, los estudios de diagnóstico ambiental en las áreas (conservadas/impactada) y a la poca disponibilidad por región de material biológico (propágulos/plántulas) que aseguren el éxito de los planes de reforestación, conservación y manejo de los ecosistemas de manglar. Con respecto a la difusión se han hecho presentaciones de los resultados a nivel nacional e internacional en congresos y reuniones especializados y de alto prestigio académico. Así como, a la falta de información, estudios de diagnóstico ambiental en las áreas (conservadas/impactada) y a la poca disponibilidad por región de material biológico (propágulos/plántulas) que aseguren el éxito de los planes de reforestación, conservación y manejo de los ecosistemas de manglar.

Área de estudio: El área geográfica de caracterización y monitoreo, abarca la parte suroeste y noreste del estado de Campeche: Área Natural Protegida Laguna de Términos (Pom Atasta, Estero Pargo, Xibujá y Sabancuy), Champotón y Reserva de la Biosfera Los Petenes (Petén Neyac y Río Verde. **Fig. 2**).

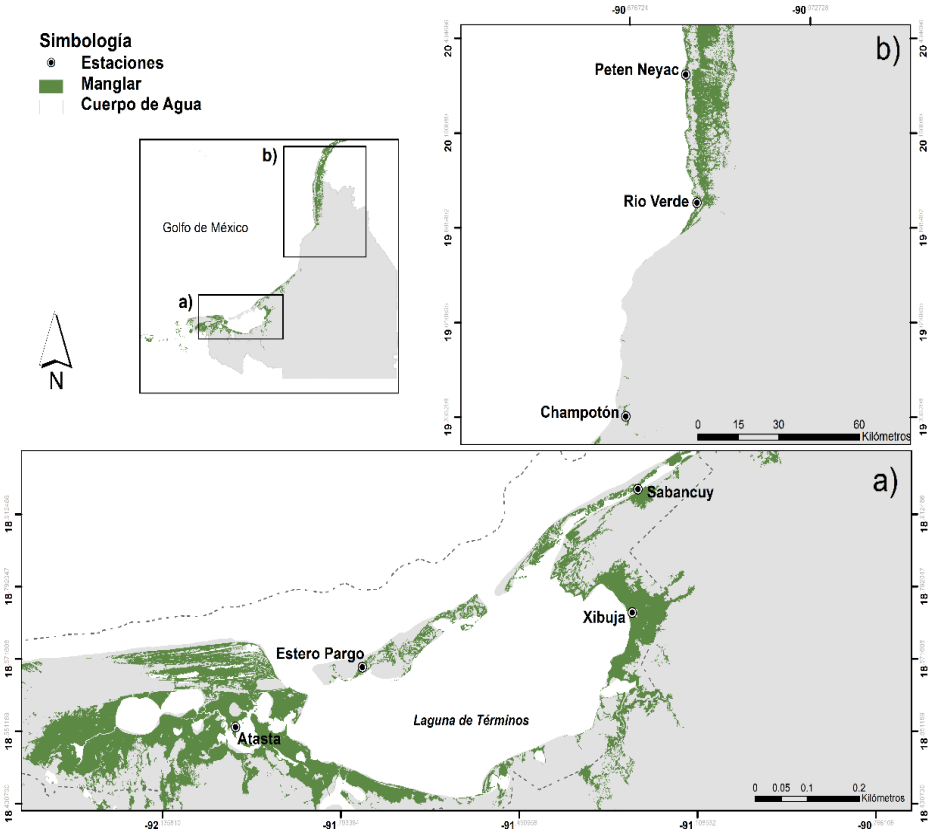

Figura 2. Distribución geográfica de las localidades establecidas para la caracterización y monitoreo de manglares en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Champotón y Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche.

a) Área Natural Protegida laguna de Términos, Campeche.

Zona noreste (Isla Aguada-Sabancuy): Los bosques de manglar presentan una estructura forestal correspondiente a un tipo fisonómico de borde, cuenca y matorral. Debido principalmente a los escurrimientos terrestres, influencia marina, tipo de sustrato y microfotografía. Los ecosistemas de esta área presentan mayor vulnerabilidad a impactos de erosión marina, elevación del nivel medio del mar, oleaje de tormenta impacto por huracanes, así como impacto por avenidas o desbordes de los ríos en situaciones de fuertes lluvias. Los principales impactos que han tenido los bosques de mangle en esta área son la tala, los efectos del huracán Roxana (1995) y la construcción de la carretera costera.

Zona sur de la Laguna: Boca Chica esta próxima a la desembocadura del Río Palizada, un tributario del Río Usumacinta. Los manglares de Boca Chica se inundan completamente

durante la época de lluvias (septiembre a noviembre) y queda aproximadamente libre de agua durante abril y mayo. La salinidad del agua superficial fluctúa de 0 a 5 UPS, mientras que la salinidad del suelo varía de 20 a 50 UPS. Los manglares se clasifican del tipo ribereño. La especie dominante es *Avicennia germinans*.

Zona centro (Isla de Cd. del Carmen –Estero Pargo): Los bosques de manglar presentan una estructura forestal correspondiente a un tipo fisonómico borde ribereño y borde. Esto atribuido principalmente a los aportes de agua dulce por lluvia e influencia marina. Los bosques de mangle de esta área han recibido el efecto de la erosión marina (en menor grado que en Sabancuy), sin embargo, el establecimiento urbano y el desarrollo de la industria petrolera ha desplazado a los manglares.

Zona suroeste (Pom Atasta): Los bosques de manglar presentan una estructura forestal correspondiente a un tipo fisonómico ribereño. Esto atribuido principalmente a los aportes de agua dulce y nutrientes por los ríos Grijalva, Usumacinta, Pedro S. Pablo y Palizada. Esta zona presenta mayor vulnerabilidad al impacto de tormentas tropicales y huracanes por su localización en una zona protegida en un complejo lagunar paralelo a la línea de costa, desarrollado en una planicie deltaica entre el Río San Pedro y San Pablo y el Río Palizada, recibe los escurrimientos del Río San Pedro, y San Pablo a través de un tapón artificial que se abrió en 1994 en época de lluvias fuerte. Los manglares de esta zona presentan las mayores alturas y áreas basales que el resto de los bosques de mangle que bordean la laguna de Términos. Estos reciben poca influencia de la marea y el impacto antropogénico de las poblaciones aledañas ha sido históricamente a través de la extracción de la leña, caza y pesca ribereña. Desde 1970 con la presencia de la actividad petrolera ha provocado deforestación, alteraciones del patrón hidrológico y alteración del hábitat.

b) Reserva de la Biosfera los Petenes

Desde el 2002 se han venido efectuando de manera puntual diagnósticos ambientales en el ecosistema de manglar en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, donde sus resultados consideran que estos en general presentan un importante grado de conservación y pocas áreas se encuentran amenazadas por las actividades antropogénicas. Es por ello que se

establecieron dos áreas de manglar para el estudio: "*Petén Neyac*" por registrar un importante grado de conservación y ecosistemas de petenes compuestos de una mezcla de manglares y selva inundable, y los bosques de manglar de "Río Verde" donde básicamente se caracterizan por un tipo borde con tendencia ribereño, borde y matorral. Esta área muestra desarrollo turístico y es el dren agrícola del valle de Edzna.

En el período de ejecución de los años de abril de 2009 a mayo de 2011 del Proyecto, se establecieron 26 parcelas de 10 x 10 m en el manglar tipo borde e interno en 7 localidades y 13 sitios, de acuerdo con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo. En esta segunda etapa, se han definido 26 parcelas con una dimensión de 20 x 20 m (seleccionadas por la Subdirección de Percepción Remota (SPR) de la Dirección de Bioinformática de la CONABIO) y en la parte interna de estas parcelas se establecieron parcelas de 10 x 10 m., en el manglar tipo borde e interno en las 7 localidades y 13 sitios.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

III. OBJETIVO GENERAL

Continuar con el monitoreo de esosistemas de manglar que se efectuo del 2009 al 2011 (proyecto FN010), con base a los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y que cumpla con los criterios de la CONABIO para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas, contribuyendo a consolidar una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano. Los antecedentes metodológicos están en la caracterización y el monitoreo que desde el año 2000 inició en la Península de Yucatán el Grupo de Procesos y Manejo Costero del CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. También, la experiencia desarrollada por parte del Instituto EPOMEX-UAC con investigaciones que involucran el componente ecológico-social y de restauración en los bosques de mangle en el estado de Campeche a lo largo de 15 años, como parte de un programa sobre la conservación, restauración y manejo. Por último, está basado también en los trabajos realizados en el estado de Veracruz por el Instituto de Ecología, cuyo énfasis ha estado en las lagunas de La Mancha y El Llano, pero ahora cuenta con el inventario de manglares y dunas costeras de ese Estado y envías de publicación.

3.1 Objetivos particulares

- Continuar con el programa de monitoreo de la estructura de la vegetación de manglar, producción de raíces y hojarasca, regeneración potencial en parcelas de 10 x 10 m en el ecosistema de manglar del estado de Campeche.
- Caracterizar los tipos de manglar y sus coberturas en el estado de Campeche de acuerdo a sus atributos forestales y a las variables ambientales que lo regulan en parcelas de 10 x 10 m., solo en el primer año.
- Caracterizar los tipos de manglar y sus coberturas en el estado de Campeche de acuerdo a sus características estructurales y a las variables ambientales que lo regulan en parcelas de 20 x 20 m en el primer y tercer año.
- Identificar las tendencias de cambio de las características ambientales y estructurales de la vegetación a partir de la línea de base, fundamentado un programa de monitoreo.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

IV. TÉCNICAS Y MÉTODOS

Durante la primera fase de ejecución del Proyecto FN010 se determinó la línea base de los procesos y/o características de los ecosistemas de manglar en el estado de Campeche, temporal y espacial. De acuerdo al marco de referencia de la EPA (*Environmental Protection Agency*, EE.UU.AA.), en el primer caso se requiere tener o generar datos durante un período que integre épocas climáticas y eventos de gran escala (huracanes, sequías, ENSO) para definir el intervalo de variabilidad y obtener valores de referencia de los indicadores, para ello se han iniciado los estudios de largo plazo en los sitios "tipo" de cada estructura de manglar característico en la Península de Yucatán. La otra aproximación (la espacial), se basa en que aprovechando la heterogeneidad y variabilidad de los ecosistemas se puede contar con un amplio espectro de condiciones hidrológicas, ecológicas y de uso. La caracterización partiría de la comparación de variables dentro y entre sitios; de acuerdo a escenarios ambientales similares.

Por lo expuesto, los componentes metodológicos que se están aplicando en este proyecto, son: **a) Componente I:** caracterización del primero y tercer año de las 7 localidades en estudio y **b) Componente II:** monitoreo de dos años.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

4.1. COMPONENTE I: CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA Y AMBIENTAL

4.1.1. Caracterización de la vegetación–grado de desarrollo–condición ambiental

4.1.1.1. La caracterización estructural de una comunidad de manglar.

Se establecieron 7 localidades de estudio con presencia de manglar de franja e interno; dónde por cada franja se definieron dos parcelas que representan 0.01 ha. Posterior a la caracterización, en cada parcela de 10 x 10 m se implementaron a su vez parcelas de 20 x 20 m (**Fig. 3**), con el propósito de que el área de Percepción Remota de CONABIO defina la relación entre la estructura de la vegetación y las características espectrales del manglar en las imágenes de satélite.

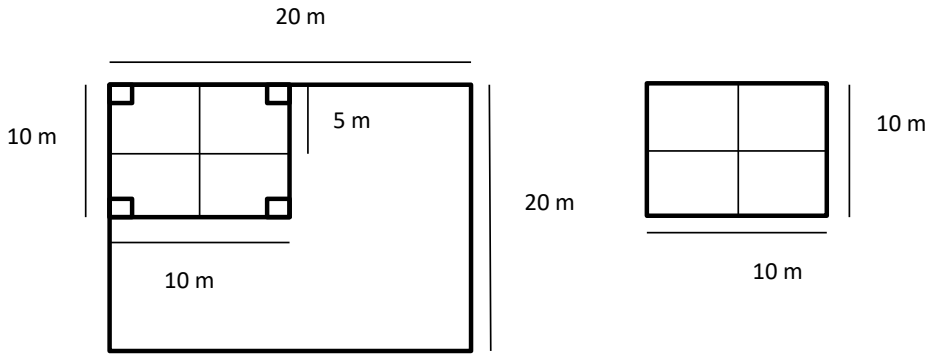

Figura 3. Diseño de parcelas de 20 m x 20 m (para realizar solamente una medición de estructura de la vegetación al inicio y otra al final del proyecto) donde se incluye a la parcela de 10 m x 10 m que se implementó en la primera etapa y donde se han monitoreado adultos, juveniles (parcela de 5x5 m) y plántulas (parcela de 1x1 m). La segunda parcela de 10 m x 10 m a la derecha es una repetición de la que está inserta en la parcela de 20 m x 20 m.

Para la determinación de los atributos estructurales del manglar en las parcelas de 20 x 20 m se aplicaron los criterios de Citrón y Schaeffer Novelli (1983) para el diámetro a la altura de pecho (DAP), área basal, densidad, altura, índice de complejidad, y adicionales como el índice de valor de importancia, frecuencia de tallas en el primero y tercer año. Así mismo, anualmente se medirá el incremento diametral en las parcelas de 10 x 10 m al inicio y final del proyecto.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

4.1.1.2. Regeneración potencial:

En las parcelas permanentes de 10 x 10 m se establecieron en forma aleatoria dos parcelas de 5x5 m y dos de 1x1 m aleatoriamente de acuerdo al criterio de Valdez-Hernández (los datos mensuales de precipitación total y temperatura 2002). En las parcelas de 25 m^2 se registrán cada seis meses durante tres años, la densidad y altura de los individuos "juveniles" (denominados aquellos con menores a 2.5 cm de diámetro y mayores a 1.3 m de altura. **Fig. 3**). En las parcelas de 1 m^2 los individuos "plántulas" con tallos menores a 1.3 m de altura, pero mayores a 30 cm, se consideraran los mismos parámetros morfométricos que para juveniles. Esto con el fin de estimar la sobrevivencia y el crecimiento en ambas fases de desarrollo del mangle (**Fig. 3**).

4.1.1.3. Neumatóforos:

Como un bioindicador del nivel máximo de inundación, así como un método indirecto para determinar el grado de oxigenación del agua intersticial, se procedió a la colecta de neumatóforos en los bosques de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* o mixtos con *Rhizophora mangle*. La colecta se realizó de manera aleatoria en cada parcela permanente de 10x10m, esto mediante un muestreador de 0.25 m^2 de tubos y codos de PVC de 1/2" (**Fig. 4**). En cada colecta se determinó la densidad de los neumatóforos por metro cuadrado, y a partir del total de los neumatóforos se midió la altura y se colectó el 10% de estos. De este 10% se contabilizó el total de lenticelas por neumatóforo para obtener el promedio de lenticelas por metro cuadrado.

Figura 4. Colecta de neumatóforos mediante cuadrantes de 0.25m^2 en las parcelas permanentes de 10 x 10 m. Daniela Guzmán Ramírez.

4.1.1.4. Productividad primaria:

Se inició con las mediciones mensuales de la productividad de las hojas a través de las trampas de hojarasca instaladas en todas las localidades y sitios en estudio. El material orgánico colectado fue separado en: hojas, estípulas, tallos, flores y otras partes florales, propágulos por especie; con el fin de establecer la respuesta fenológica, con respecto a las condiciones fisicoquímicas del agua intersticial y se registros climáticos; según criterios de Agraz Hernández *et al.* (2014).

Se continúa con la cuantificación anual de la biomasa aportada por las raíces finas. Para ello se colectaron núcleos, para evaluar el tiempo cero. Posteriormente, en cada sitio donde se extrajo el núcleo, se instaló un saco de tela de mosquitero rellenos de *peat moss*, ocho por localidad, cuatro por sitio; sin embargo, en el sitio denominado Petén Neyac únicamente se instalaron 6 sacos, los dos faltantes fueron instalados posteriormente durante el mes de octubre de 2014. Esta determinación se realiza mediante la separación de las raíces por núcleo, en peso fresco y seco.

Para la evaluación de la biomasa aportada por los troncos al sistema, se efectuó con tinta indeleble y mediante una cinta dapométrica; dos marcas, una superior y otra inferior a uno 1.30 m. de altura del árbol de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. En el caso de los árboles de *Rhizophora mangle* se medirán a partir de 30 cm posterior a la unión de las últimas raíces adventicias. Para ellos se seleccionaron al azar en las parcelas de 20 x 20 m en cada unidad de vegetación 10 árboles de la especie y diámetro dominante. Esto determinado a partir de los datos generados para establecer la estructura forestal. En el caso de las parcelas de 10 x 10 m, se etiquetarán todos los árboles mayores a 2.5 cm de diámetro y cada año se medirán las variaciones del diámetro.

4.1.1.5. Análisis de datos:

La información y el análisis de cada variable, por localidad, sitio y época, permite obtener la caracterización de la estructura del manglar. Para la ampliación de este Proyecto se incluirá el análisis exploratorio de las variables a través estadística descriptiva y métodos de ordenación y clasificación multivariada para establecer patrones, variables importantes y afinidad entre localidades y sitios. Se espera obtener la tendencia del conjunto de variables que explican la mayor parte de la variabilidad en cada localidad, sitio y época y, para ello se aplicará el análisis de componentes principales. Cada variable se analizará a través de diagramas cajas "*box y whiskers*", en los cuales se podrán observar tendencias, diferencias entre sitios y variabilidad.

4.1.1.6. Identificación de Indicadores:

Se continuará con el monitoreo de cada variable en el contexto ecológico, de impacto y uso para cada sistema que permita evaluar la tendencia del ó de los indicadores que mejor describan la condición. La selección de los indicadores tiene como criterios que sean de fácil medición, que se correlacionen con otras variables cuyos análisis sean técnicamente más sofisticados, esto para asegurar la robustez de la variable indicadora, que será una de las que se incluyan en las propuestas de programa de monitoreo.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

4.1.2 Caracterización ambiental

4.1.2.1. Microtopografía:

La distribución microtopográfica en un bosque de manglar determina la zonación de las especies a lo largo de la franja de bosque, esto debido a que se encuentra relacionada con el hidroperíodo. Para esta determinación se utilizó una manguera de nivel convencional, flexómetro, plumones indelebles y estadales de madera de 1.50 m de altura (Agraz-Hernández, 1999; Flores Verdugo y Agraz Hernández, 2009). Durante el primer año (etapa de caracterización), se tomará la medición de la microtopografía en transectos perpendiculares al cuerpo de agua, determinándose los cambios de elevación del suelo cada 8 m con una manguera de nivel (Flores Verdugo y Agraz Hernández, 2009) desde el bosque de borde hasta el interno (**Fig. 5**).

Figura 5. Determinación de la distribución microtopografíca en los bosques de mangle que bordean el litoral del estado de Campeche. Claudia Maricusa Agraz Hernández.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

4.1.2.2. Clima:

Se solicita a CONAGUA el promedio mensual de la precipitación de la estación meteorológica más cercana a cada una de las localidades en estudio. Esto con la finalidad de elaborar al final del proyecto climogramas que permitan identificar el tipo de clima de cada localidad y las diferentes condiciones que se observan en la zona de estudio y su relación con la producción de hojarasca.

4.1.2.3. Reguladores del suelo:

Para el muestreo de la salinidad, pH y potencial redox del agua intersticial, previamente a la toma de datos *in situ*, se purga el pozo mediante un sifón de agua, con el fin de obtener muestras de agua no alteradas por la exposición al aire. Las mediciones mensuales de los parámetros se efectúan en forma simultánea a la colecta de hojarascas. El valor de pH y potencial redox se determina con una sonda multiparamétrica marca HACH modelo HQ11d con electrodos modelo pHC101 para el pH y temperatura (grados centígrados), y un modelo MTC101 para el potencial redox (mV). Simultáneamente, se determinó la salinidad con un refractómetro A&O, con intervalos de medición de 0 a 100 UPS.

En los sedimentos que componen el suelo del manglar, se midió a nivel de las raíces (≈30 cm de profundidad) y se tomó 250 g de muestra de suelo para determinar la densidad aparente y la materia orgánica por parcelas, en cada sitio de estudio. Así mismo, se determinó el potencial redox y pH en el suelo mediante un multiparámetrico IQ150.

4.1.2.4. Recursos de los suelos:

Se colectaron muestras de sedimentos en cada sitio y localidad, para la determinación del porcentaje de materia orgánica, concentración del fósforo y nitrógeno total; según los criterios de Craft (1991), Bray-1 y el método de Micro-Kjedhal, respectivamente.

4.1.2.5. Diagnóstico:

Con la información de todos los sitios se procederá a determinar lo que serían los intervalos que definan la condición de referencia de acuerdo a las variables de estructura, hidrológicas y de sedimentos. El procedimiento se basa en calcular la mediana y los cuartiles 25 y 75, siendo este intervalo la condición de referencia. Los resultados de las variables estructurales

que estén por arriba de este intervalo se consideraran como la condición “buena” y por debajo de él será la condición “mala”. De esta forma se tendrá el criterio a seguir en la definición de la condición de cada sitio en función de cada variable y poder tener su diagnóstico. Para los proyectos de restauración, conservación, o uso sustentable, esta información será fundamental, ya que proporcionara el punto de inicio de la curva de funcionamiento, la cual es la forma más robusta de medir el éxito de cualquier proyecto a través de los resultados del monitoreo (Rivera-Monroy *et al.*, 1995).

4.2. COMPONENTE II: MONITOREO

De acuerdo a los lineamientos de monitoreo de la Red Mexicana de Investigación Ecológica de Largo Plazo (Mex-LTER), el monitoreo de variables clave debe realizarse considerando su ubicación en cuatro niveles, de acuerdo a: (1) la naturaleza de la variable que se quiere monitorear, con relación a su varianza, frecuencia de oscilación y la sensibilidad a cambios ambientales y (2) la complejidad técnica del monitoreo, en términos de la infraestructura, la calidad de los recursos humanos y el costo de mantenimiento del monitoreo.

Los cuatro niveles de monitoreo de la Red Mex-LTER son: Nivel básico, Nivel uno, Nivel dos, Nivel tres, y las líneas de monitoreo previstas por la Red son: Clima, Características del suelo y agua, flujos de materia y energía, diversidad biológica y abundancia de poblaciones clave, productividad primaria, dinámica del paisaje y usos del suelo. De acuerdo a lo anterior, en esta propuesta se incluirán tres líneas de monitoreo: *Clima*, *Características de suelo/agua y productividad primaria*, con niveles de monitoreo específicos para cada localidad.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

V. RESULTADOS

Con la finalidad de cubrir los objetivos planteados para este proyecto, se realizó durante el mes septiembre de 2013 las compras, 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. Puesto que al visitar las siete localidades monitoreadas durante la primera fase del proyecto en cuestión (años 2009-2011), se detectó que el material en campo estaba deteriorado e incompleto. Por ello, en el mes de septiembre y octubre del 2013 se concluyó con las compras y reparación del material requerido en campo; elaborándose 65 canastas y 54 sacos con peat moss.

En el mes de noviembre de 2013, se limpiaron y reinstalaron las parcelas de 10 x 10 m y 20 x 20 m; además, se instalaron los piezómetros (dos por franja) y las canastas de defoliación (10 por localidad, 5 por tipo fisonómico). Todo lo anterior para la caracterización biológica y edafológica. Se extrajo para la determinación de la biomasa radicular dos núcleos de 50 centímetros de profundidad por franja, e instalaron los sacos con peat moss (8 por localidad; excepto Atasta y Petén Neyac con 4 y 6 sacos, respectivamente. En Peten Neyac se instaló el 10 de octubre de 2014 los dos sacos de peat moss para completar, dos por parcela, cuatro por franja y ocho en total en esta estación. Se inició con el monitoreo mensual de la salinidad, potencial redox, pH y temperatura del agua intersticial y la producción de hojarasca. Asimismo, el crecimiento de las plántulas y juveniles fue muestreado en el primero y tercer año.

Es relevante mencionar que derivados de los efectos climáticos que ocasionan los frentes frío (con duración aproximada de 4 días) y surestes en el periodo que se reporta, el tiempo de muestreo ha sido en general de un día, por estación y en conjunto del aumento mensual del litro de gasolina, se ha incrementado el costo del muestreo por mes con respecto a lo cotizado en la propuesta del proyecto. Cabe destacar que debido al interés que se tiene por el proyecto KN001, se ha solventado con fondos institucionales los gastos extras que se generaron durante los muestreos.

A partir de lo expuesto, se reporta de manera detallada los resultados obtenidos durante la fase de caracterización y monitoreo de las variables medidas.

5.1. FASE DE CARACTERIZACIÓN

5.1.1. Estructura forestal y tipos fisonómicos de los bosques de manglar al inicio (2013) y final (2016) del proyecto KN001

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 del estado y con disminución de estos atributos a lo largo de los perfiles de vegetación (de la Reserva de la Biósfera Los Petenes hacia el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos) (**Fig. 6**), comportamiento similar a los resultados obtenidos en la primera fase de este proyecto (FN010).

El comportamiento antes descrito, es 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, la pérdida de los atributos forestales a través del perfil de vegetación, en términos de incremento en la densidad y disminución en el área basal y altura hacia el interior del bosque (de mar a tierra), es atribuida principalmente al incremento en la microtopografía, disminución en el hidroperíodo 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 derivados de las condiciones hidrológicas y la concentración en la salinidad intersticial.

En específico los manglares que bordean la parte suroccidental de la Laguna de Términos ─Atasta y Estero Pargo─ en el Área de Protección de Flora y Fauna de laguna de Términos, presenta los mayores atributos forestales (**Fig. 6**). Este tipo fisonómico es debido 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 Chumpán hacia la región suroccidental. 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) indican 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.

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 m^2/0.01 a 10.9 m^2/0.01 ha y alturas con intervalos desde 7.8 hasta 10.7 m).

Finalmente, para el área de estudio en general no se establecen diferencias significativas entre los años de muestreo (Noviembre de 2013 y noviembre de 2016) con respecto a la densidad y área basal de los bosques de manglar que componen el litoral de Campeche (**Tabla 1**).

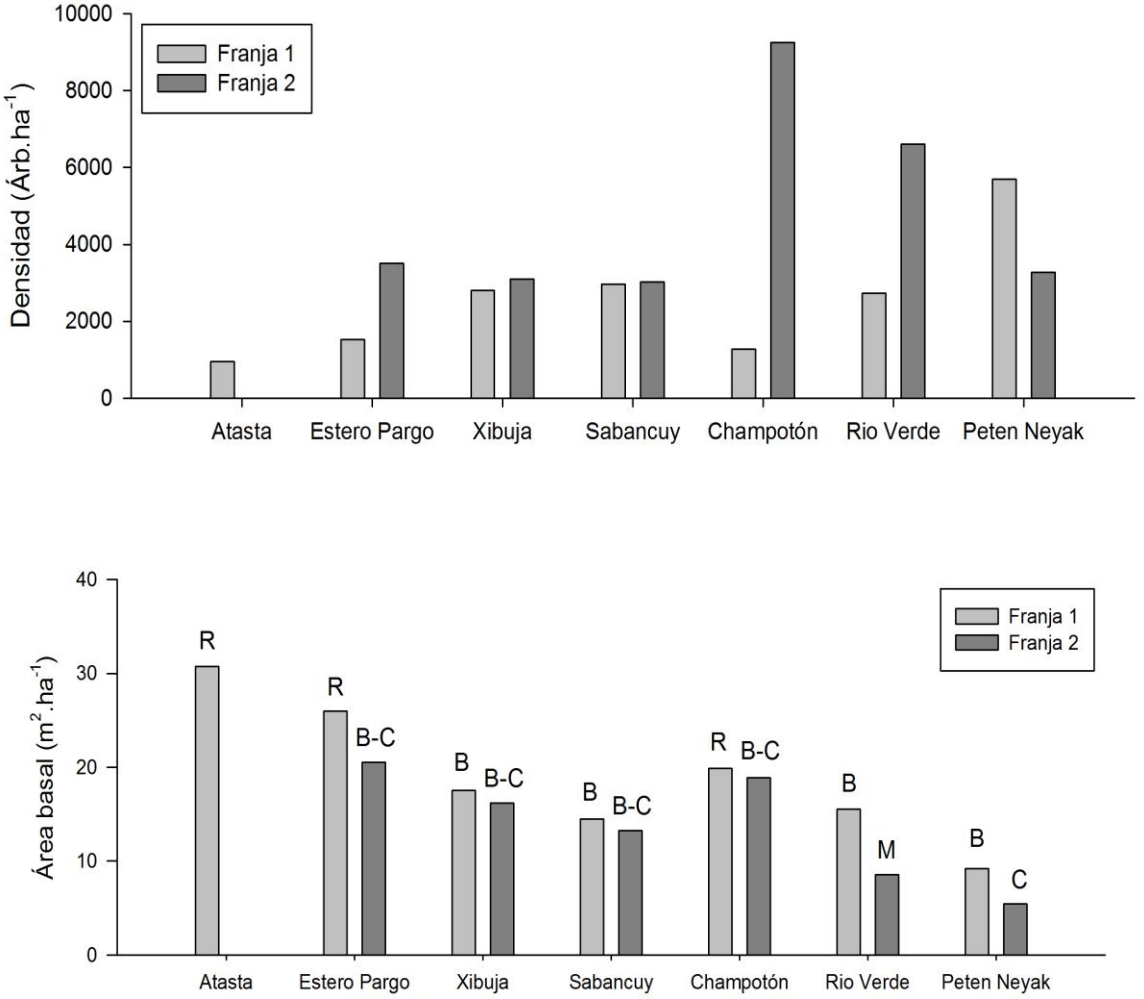

Figura 6. Atributos forestales en siete sitios con mangle que bordean la línea a de costa del estado de Campeche, a través de perfiles al inicio del proyecto (Noviembre 2013). F1= bosque que bordea la línea de costa. F2= bosque interno.

Las características estructurales e índices de valor de importancia y complejidad de los bosques de mangle que componen los siete sitios de monitoreo en estudio al inicio y final del proyecto KN001, se describen a continuación a lo largo de perfiles de vegetación (**Tablas 2 y 3. Figs. 9 y 10**):

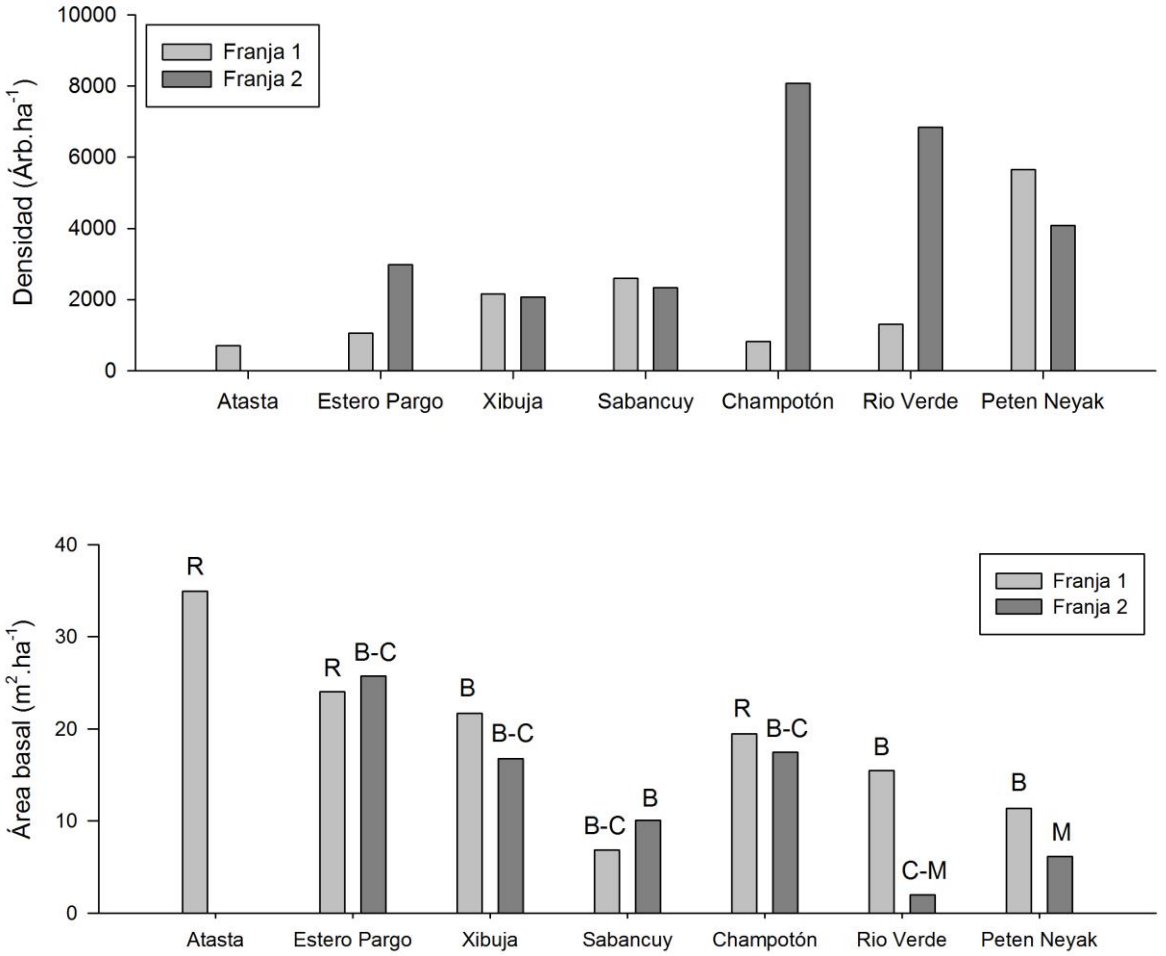

Figura 7. Atributos forestales en siete sitios con mangle que bordean la línea a de costa del estado de Campeche, a través de perfiles al final del proyecto (Noviembre 2016). F1= bosque que bordea la línea de costa. F2= bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 1. Prueba de MANOVA entre la densidad y el área basal de los bosques de manglar en los siete sitios que bordean el litoral de Campeche y años de estudio (2013 y 2016). Con un nivel de significancia de α= 0.05.

Criterios	Estadístico F*	*gl* núm.	*gl* denom.	Valor p
Wilks	0.432	2	25	0.654 NS
Lawley-Hotelling	0.432	2	25	0.654 NS
Pillai´s	0.432	2	25	0.654 NS

*Los valores de s= 1; m= 0.0 y n= 11.5 respectivamente.

Tabla 2. Índice de complejidad de los bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche, en las parcelas 20 x 20 m durante los años 2013 y 2016.

Sitio	Franja	Parcela	Índice de complejidad 2013	Índice de complejidad 2016
Atasta	F1	1	7.57	7.52
Atasta	F1	2	9.84	7.09
Estero pargo	F1	1	6.30	5.09
Estero pargo	F1	2	7.18	3.86
Estero pargo	F2	3	2.14	3.3
Estero pargo	F2	4	2.79	1.86
Xibuja	F1	1	10.69	10.04
Xibuja	F1	2	13.15	11.38
Xibuja	F2	3	5.59	2.02
Xibuja	F2	4	3.06	3.33
Sabancuy	F1	1	5.84	2.65
Sabancuy	F1	2	7.40	2.97
Sabancuy	F2	3	7.13	4.56
Sabancuy	F2	4	9.69	4.96
Champotón	F1	1	4.40	3.44
Champotón	F1	2	3.22	2.15
Champotón	F2	3	12.22	18.68
Champotón	F2	4	37.84	34.94
Rio verde	F1	1	14.38	5.15
Rio verde	F1	2	13.53	13.53
Rio verde	F2	3	1.20	1.0
Rio verde	F2	4	1.16	1.16
P. neyac	F1	1	17.65	11.4
P. neyac	F1	2	9.21	7.96
P. neyac	F2	3	9.38	3.33
P. neyac	F2	4	2.30	1.6

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 3. Índice de complejidad de los bosques de mangle bordean el litoral de Campeche, en las parcelas 10x10 m durante los años 2013 y 2016.

Sitio	Franja (Parcela 10x10)	Indice de complejidad 2013	Indice de complejidad 2016
Atasta	F1	8.69	6.58
Estero pargo	F1	6.89	5.04
	F2	2.49	1.60
Xibuja	F1	11.93	9.23
	F2	5.13	2.74
Sabanvuy	F1	6.90	2.83
	F2	8.36	5.53
Champotón	F1	3.84	2.60
	F2	23.31	20.72
Rio verde	F1	14.72	14.72
	F2	1.19	1.19
P. neyac	F1	15.41	15.40
	F2	3.16	2.11

Sabancuy: Durante el 2013, los bosques de mangle que componen el perfil de vegetación presentaron similar fisonomía a los bosques ubicados en Xibujá. Al registrase en la orilla del estero, un bosque tipo borde (14.5 m^2 ha^{-1} y 2962.5 ind.ha^{-1}) e interno tipo borde-cuenca (13.2 m^2 ha^{-1} y 3025 ind.ha^{-1}) (**Fig. 6, 7, 8**). Esto como reflejo del incremento en la salinidad del agua intersticial; producto de la intrusión salina, que la erosión costera ha provocado en el humedal. A su vez, es consecuencia del tipo de suelo kárstico y la rápida infiltración del agua. Así mismo, derivado de actividades antropogénicas como la ganadería, asentamientos humanos, tala inmodera (90%) y cambios hidrológicos, en el 2016 se registró un incremento en la dominancia de *A. germinans*, seguida de *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* en el sitio; además de la disminución de los atributos forestales, 6.85 m^2 ha^{-1} y 2,600 ind.ha^{-1}en la orilla, y 10.05 m^2 ha^{-1} y 2,337.5 ind.ha^{-1} en el bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

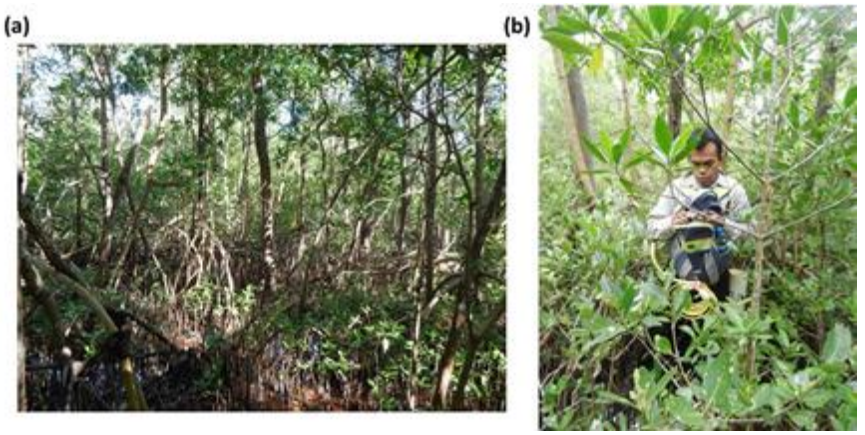

Figura 8. Características ambientales de los bosques de mangle en Sabancuy**,** Campeche. **(a)** Bosque mixto de *R. mangle* y *A. germinans*. **(b)** Mediciones de parámetros fisicoquímicos del agua intersticial en un bosque mixto de *R. mangle* y *A. germinans*, por Gilberto Martínez.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

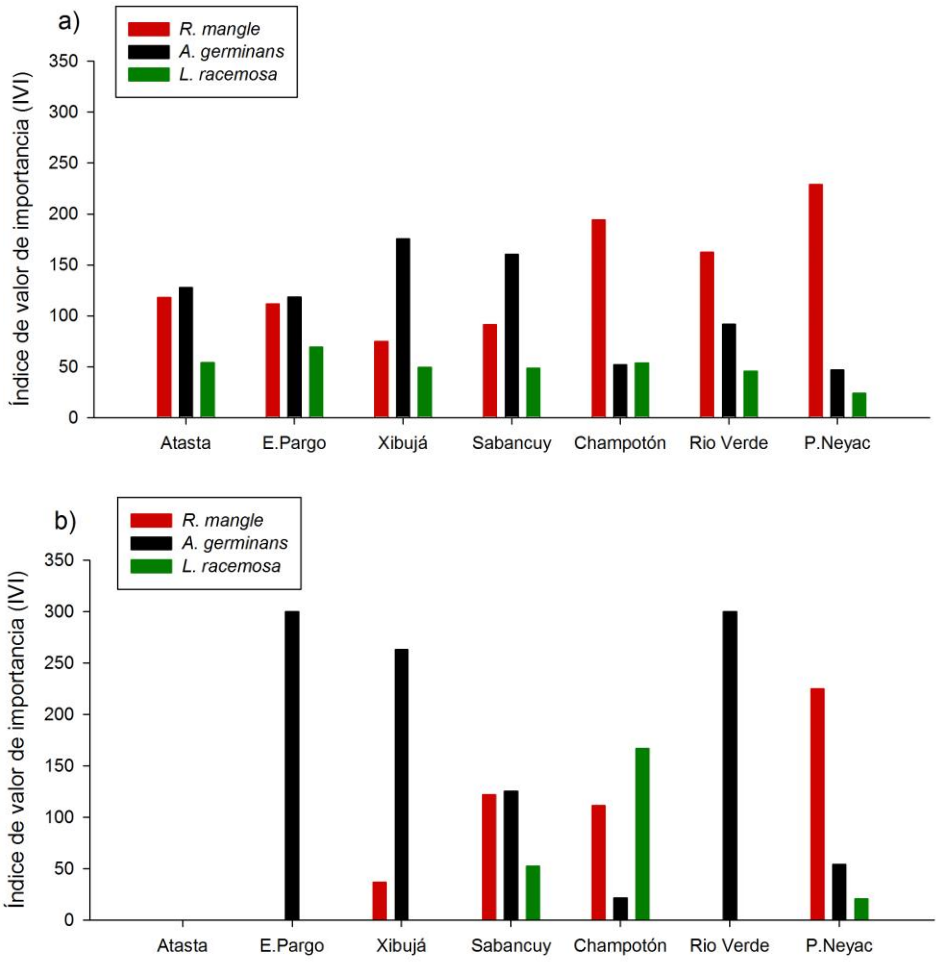

Figura 9. Índice de valor de importancia de tres especies de mangle presentes en los bosques que bordean el litoral e internos en el estado de Campeche. México, al inicio del proyecto KN001 (Noviembre 2013). a) Bosque que bordea la linea de costa. b) Bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

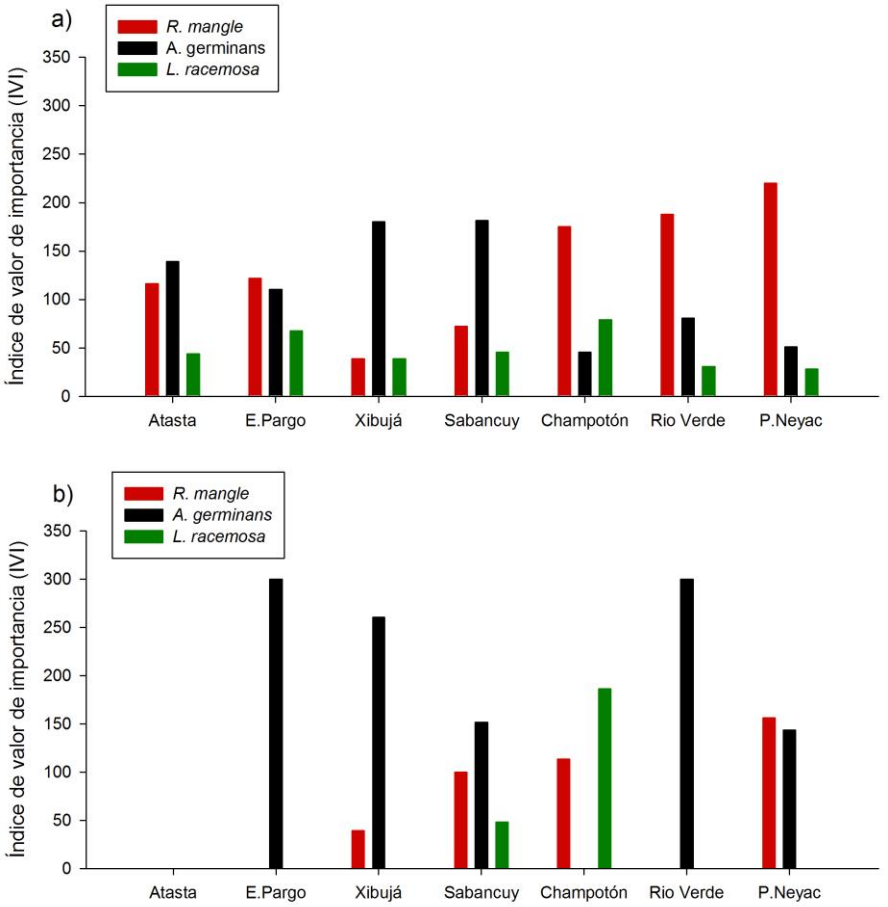

Figura 10. Índice de valor de importancia de tres especies de mangle presentes en los bosques que bordean el litoral e internos en el estado de Campeche. México, al final del proyecto KN001 (Noviembre 2016). a) Bosque que bordea la linea de costa. b) Bosque interno.

Xibujá: En el año 2013, los bosques de mangle de esta localidad, registran dos tipos fisonómicos a lo largo del perfil de mangle, en la orilla de la laguna un tipo borde (17.5 m^2 ha^{-1} y 2800 $ind.ha^{-1}$), con dominancia de *A. germinans* y presencia de *R. mangle* y *L. racemosa* (**Figs. 7,8,9,10**); e interno, con fisonomía borde con tendencia cuenca (16.2 m^2 ha^{-1} y 3100 $ind.ha^{-1}$), con dominancia de *A. germinans* y presencia de *R. mangle*. En el 2016 no se registró diferencias en la dominancia de especies y atributos forestales tanto en el bosques de la orilla como interno (**p>0.05**) (21.67 m^2 ha^{-1} y 2,150 $ind.ha^{-1}$; 16.74 m^2 ha^{-1} y 2,068 $ind.ha^{-1}$, respectivamente. **Figs. 7, 8, 9, 10. Tabla 1**). Estos bosques presentan menores atributos forestales con respecto a los ubicados en Atasta, a causa del tipo de suelo kársticos

que se caracteriza en el sitio. Debido a que el agua escurre sobre las rocas carbonatadas infiltrandose rápidamente, reteniendo los fosfatos y limitando el crecimiento de los árboles (Smith III *et al.*, 1994). Por lo anterior, se incrementa la temperatura y la salinidad, de las condiciones mesohalinas a euhalinas del agua intersticial, dominando *A. germinans* a lo largo del perfil en Xibujá (**Figs. 7, 8, 9, 10**).

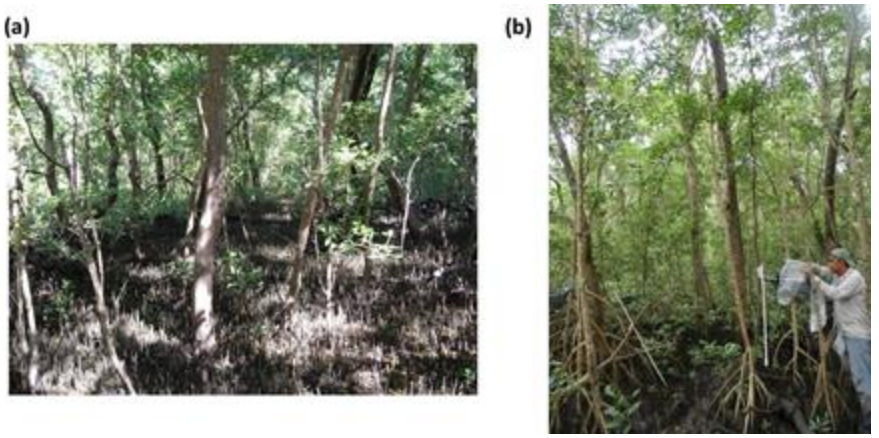

Figura 11. Características ambientales de los bosques de mangle en Xibujá**,** Campeche. **(a)** Bosque tipo borde de *Avicennia germinans*. **(b)** Bosque de mixto de *Rhizophora mangle* y *A. germinans*, con fisonomia borde con tendencia cuenca. Recolección de la hojarasca por Jordán Reyes Castellano.

Estero Pargo: En el año 2013, los bosques de mangle ubicados a través del perfil de vegetación en este sitio, presentaron una fisonomía Ribereña en el bosque que bordea la línea de costa (26 m^2 ha^{-1} y 1525 ind.ha^{-1}) e interno, tipo borde con tendencia cuenca (20.5 m^2 ha^{-1} y 3500 ind.ha^{-1}). Por otra parte, y al igual que el bosque de mangle en Atasta, se presentó dominancia de *A. germinans*, seguido por *R. mangle* y con presencia de *L. racemosa* en la línea de costa e interno dominado por *A. germinans* (**Figs. 6, 7, 9 ,10 y 12**). Para el año 2016 el tipo fisonómico y dominancia de la especie no cambiaron (*R. mangle* dominó en el bosque que bordea a la línea de costa y *A.germinans* hacia el interior de bosque), sin embargo, se presenta una disminución no significativa en área basal 24.02 m^2 ha^{-1} y 1,050 ind.ha^{-1} en el bosque de la orilla, e incremento hacia el interior del perfil 25.73 m^2 ha^{-1} y 2,975 ind.ha^{-1}.

Estos atributos forestales son atribuidos principalmente a la homogeneidad que presenta el sitio en la inundación, constante circulación del agua intersticial, y aporte de nutrientes; esto

validado a través de los valores registrados del potencial redox en el agua intersticial (-350.1±6.08 mV y 43±4UPS). Es importante señalar que la dominancia de *A. germinans* hacia el interior del bosque es atribuida al incremento del nivel del suelo, salinidad y menor disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua intersticial (-376.7±0.2 mV y 64±2 UPS para el bosque interno. **Figs. 6, 7, 9 ,10 y 12**).

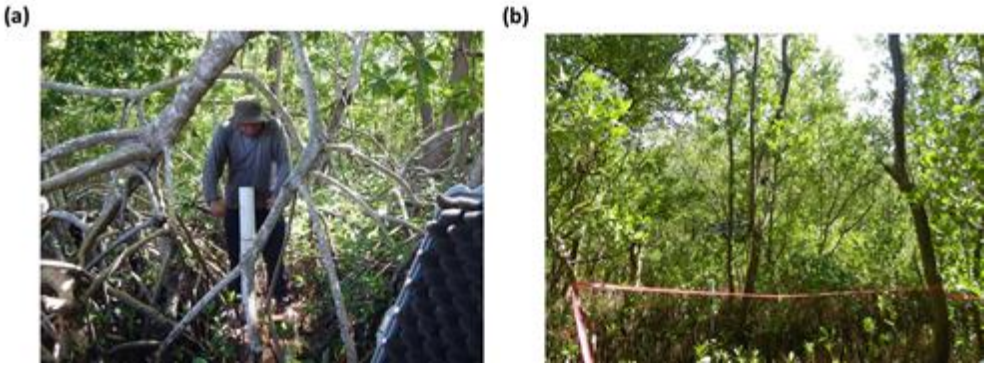

Figura 12. Características ambientales de los bosques de mangle en Estero Pargo**,** Campeche. **(a)** Extracción de núcleos para la determinación de nitrógeno y fósforo total en un bosque ribereño de *R. mangle*. Extracción de núcleos por Carlos Chan Keb. **(b)** Bosque de *A. germinans* tipo borde con tendencia cuenca.

Atasta: Durante el 2013, el bosque de mangle que caracteriza el sitio, presenta un tipo fisonómico Ribereño (de 30.71 m^2 ha^{-1} y 950 ind.ha^{-1}), dominado por *A. germinans*, seguido por *R. mangle* y con presencia de *L. racemosa* (**Figs. 6, 7, 9 ,10 y 13**).). Esta dominancia de especies y estructura definida permanece durante el 2016, en donde se registra 34.95 m^2 ha^{-1} y 700 ind.ha^{-1} **Figs. 6, 7, 9 ,10 y 13**). Esta localidad se distingue la distribución homogénea de los bosques desde la orilla hacia la parte interna de este. Autores como Agraz Hernández *et al*. (2012) mencionan que la fisonomía que presenta los subsistemas lagunares de Atasta, San Carlos y Puerto Rico hasta finalizar el perfil de vegetación, se atribuye a la baja salinidad y las condiciones de oxigenación; determinando a su vez densidades altas de *L. racemosa* por dichas condiciones. Especie indicadora que se ve beneficiada por condiciones mesotróficas hasta eutróficas, por la presencia de fosfatos de origen antrópico, descargas de residuos urbanos, industriales y agroquímicos (Agraz Hernández *et al.*, 2011).

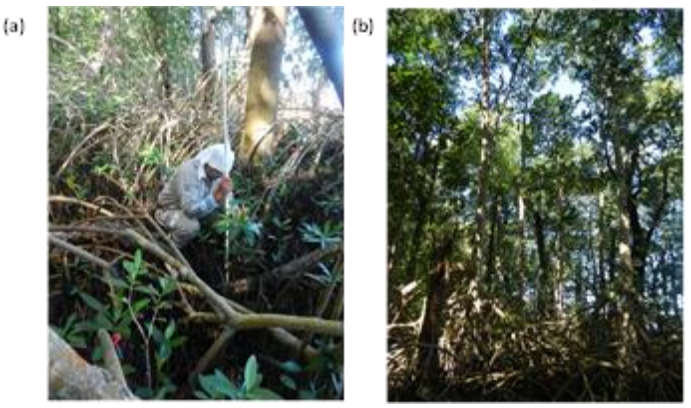

Figura 13. Características ambientales de los bosques de mangle en Atasta**,** Campeche. **(a)** Mediciones para la determinación del crecimiento de juveniles en *R. mangle,* por Juan Ósti Sáenz. **(b)** Bosque de *R. mangle* tipo Ribereño en Atasta, Campeche.

Champotón: Esta localidad, en el 2013 registra similitud en la fisonomía de los manglares que bordean el perfil ubicados en Xibujá y Sabancuy. Con un bosque tipo borde en la línea de costa (19.8 m^2 ha^{-1} y 1,275 ind.ha^{-1}), pero diferencias en la especie dominante, pues en este sitio domina *R. mangle,* con presencia de *L. racemosa* y *A. germinans* (**Figs. 6, 7, 9 ,10 y 14**.). Con un bosque tipo borde-cuenca en la parte interna del perfil (18.8 m^2 ha^{-1} y 9,250 ind.ha^{-1}), dominado por *L. racemosa* y presencia de *R. mangle* y *A. germinans* (**Fig. 6**). Con respecto a la estructura forestal presente en el 2016, la fisonomía descrita no registro diferencias, con repecto al año 2013 desde la orilla (19.43m^2 ha^{-1} y 825 ind.ha^{-1}) hasta el bosque interno (17.44 m^2 ha^{-1} y 8,075 ind.ha^{-1}**. Figs. 6, 7, 9 ,10 y 14).**

Esta fisonomía 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). Asimismo, se observa a lo largo del perfil de vegetación una disminución de los atributos forestales al incrementarse la topografía, ocasionando menor frecuencia y amplitud de inundación superficial hacia el interior del perfil; estableciendo con ello la disminución en los atributos forestales. Esto validado a través de la distribución de las especies dominantes; donde el bosque que bordea el canal del río es *R. mangle* y hacia el interior del bosque (bosque interno) *L. racemosa*, no sólo por la menor inundación superficial, sino por la calidad del agua al registrase actividad agrícola y ganadera (**Fig.14**).). 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.

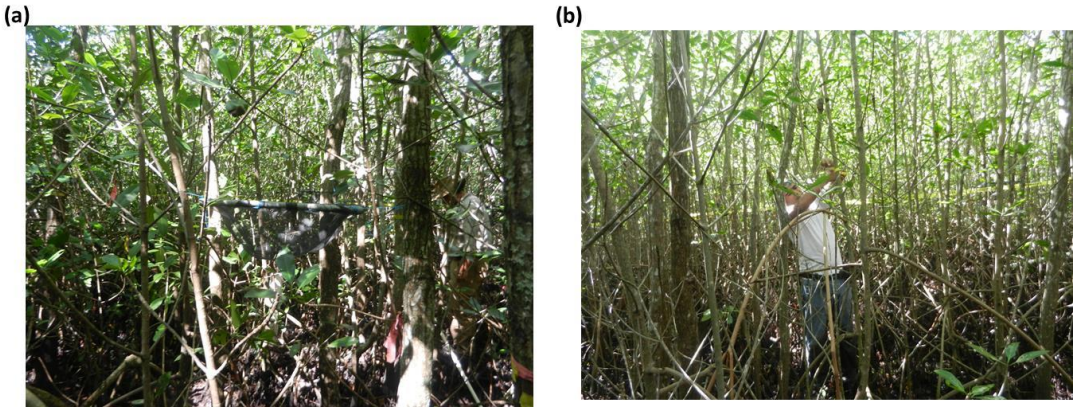

Figura 14. Características ambientales de los bosques de mangle en Champotón**,** Campeche. **(a)** Colecta de hojarasca en un bosque mixto de *R. mangle. L. racemosa* y *A. germinans*, por Juan Osti Saénz. **(b)** Medición del diámetro de un árbol de *R. mangle*, por Jordan Reyes Castellano.

La Reserva de la Biosfera Los Petenes (Río Verde y Petén 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 del bosque interno de Petén 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), la tasa de evaporación y la concentración de la salinidad en el agua intersticial (53.14±5.91 mV), disminuyendo la disponibilidad del oxígeno disuelto en el agua intersticial (-362.59 ±15.22 mV), hasta llegar a valores de fotoinhibición enzimática y fotosintética (**Fig. 15)**. Autores como Saenger (2002) y Agraz Hernández *et al*. (2007) mencionan que plantas presentan inhibición enzimática y fotosintética bajo condiciones anóxicas (potenciales redox menores a -320 mV).

En específico para el sitio de Río Verde la perdida de los atributos forestales en el bosque interno, es causada por el aporte nutrientes de origen terrigénico, derivado de la obstrucción del flujo y reflujo del agua (hidroperíodo); y por ende, disminución del aporte de sedimentos al bosque, e incrementado los tiempos de residencia del agua. Lo anterior 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; por presentar estas 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 kársticas del suelo y a la ausencia de ríos superficiales; predominando en los ecosistemas; ríos subterráneos, poco aporte de nutrientes y sedimentos finos; escasa circulación del agua, 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.

Petén Neyac: La estructura forestal en términos de área basal y densidad establecieron en los manglares de la orilla del agua, un tipo borde y en el interno cuenca, con dominancia de *R. mangle* y presencia de *A. germinans* y *L. racemosa* (11.73 m^2 ha^{-1} y 5700 ind.ha^{-1}) (**Figs. 6, 7, 9 ,10**). En el caso del manglar interno se definieron dos tipos de bosques, uno conformado en la orilla de la línea de costa por árboles de *R. mangle* con fisonomia cuenca-matorral (6.97 m^2 ha^{-1} y 4,200 ind.ha^{-1}); y otro en la parte interna tipo matorral dominado por *A. germinans* (0.9 m^2 ha^{-1} y 1,175 ind.ha^{-1}) (**Figs. 6 y 13**). Es importante mencionar, que la baja densidad registrada de *A. germinans* en el bosque interno, a la predominancia de claros dentro del bosque (**Fig. 15c**).

Los atributos forestales en el sitio de Petén Neyac para el año 2016 no mostraron diferencias en ambos bosques de estudio (11.34 m^2 ha^{-1} y 5650 ind.$ha^{-1,}$ y en el interior del bosque 6.13 m^2 ha^{-1} y 4,075 ind.ha^{-1}). El tercer bosque definido para esta área en estudio registró 2.97 m^2 ha^{-1} y 2,875 ind.ha^{-1}.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

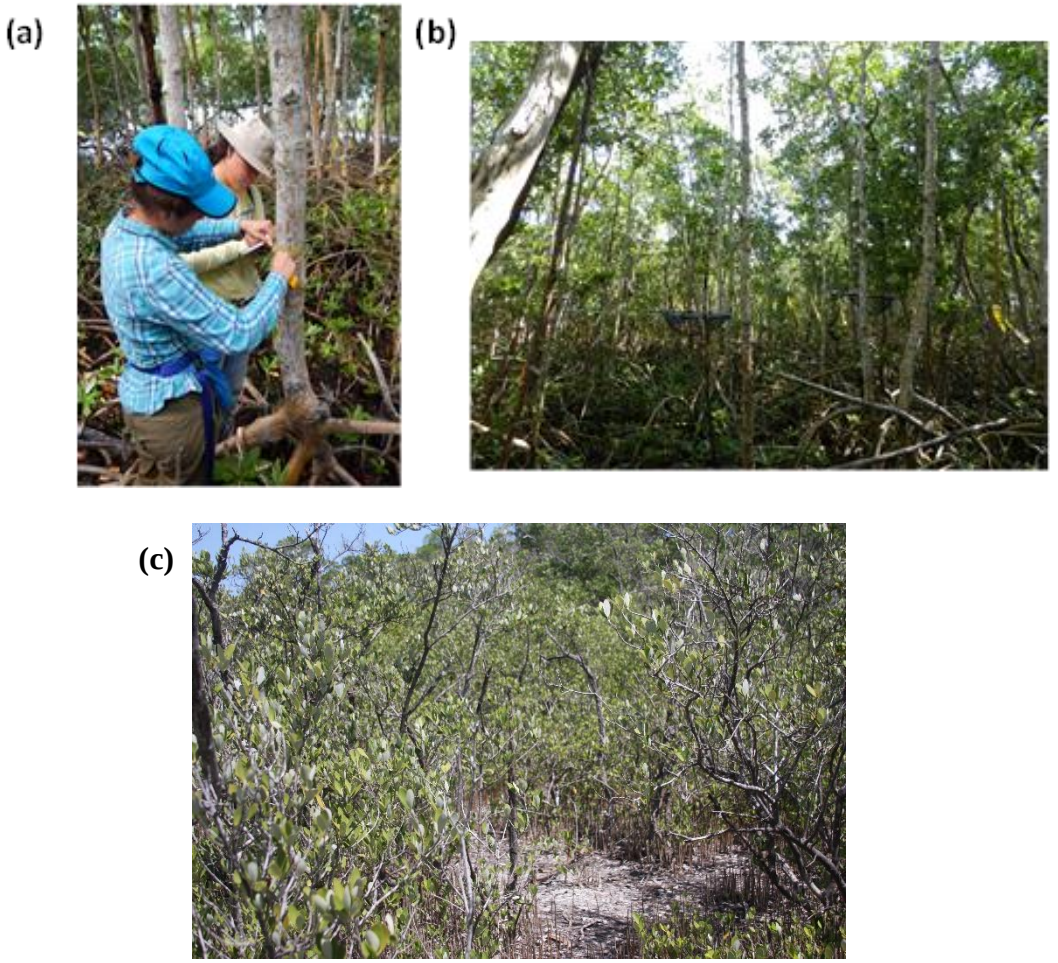

Figura 15. Características ambientales del perfil de vegetación en la localidad de Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. **(a)** Medición del diámetro de un árbol de *R. mangle* por las biólogas Yarely Cach Ruíz y Kenia Paolha Conde Medina. **(b)** Canasta de defoliación en un bosque con *R. mangle*. **(c)** Claros en el bosque interno de Petén Neyac en la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche.

Río Verde: En el 2013, los atributos forestales del manglar que bordea la línea de costa en esta localidad establecieron una fisonomía borde (15.5 m^2 ha^{-1} y 2725 ind.ha^{-1}), con dominancia de *R. mangle*, en menor densidad *A. germinans* y con presencia *L. racemosa* (**Figs. Figs. 6, 7, 9 ,10**). En el caso del manglar interno se definió un tipo matorral, con dominancia de *A. germinans* (8.5 m^2 ha^{-1} y 6600 ind.ha^{-1}). Durante el 2016, el bosque que bordea a la línea de costa registró 18.7m^2 ha^{-1} y 3,400 ind.ha^{-1}, y hacia el interior del bosque 8.16 m^2 ha^{-1} y 7,230 ind.ha^{-1} (**Figs. 6, 7, 9 ,10)**.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

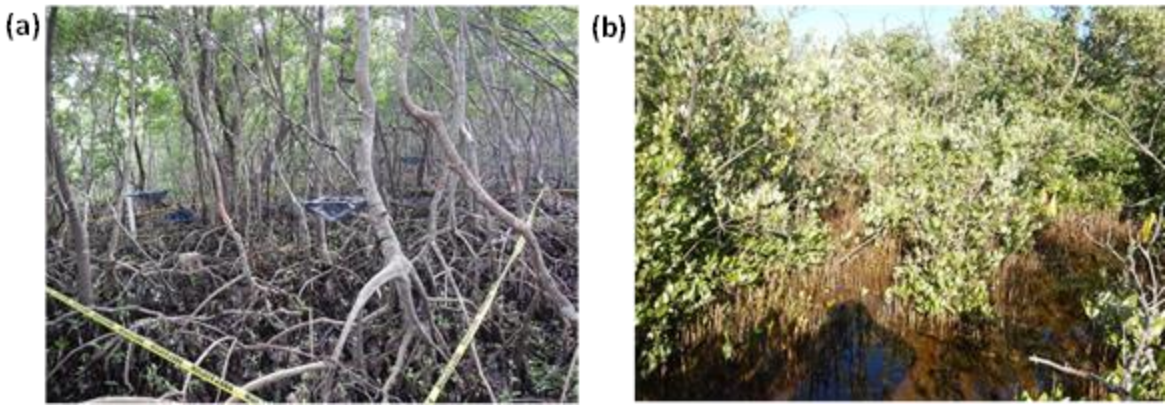

Figura 16. Características ambientales del perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche. **(a)** Bosque mixto de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa,* tipo borde ubicado en la línea de costa. **(b)** Bosque monoespecifico de *A. germinans* tipo matorral con tendencia cuenca.

5.1.3. Microtopografía de los bosques de manglar en los sitios de estudio

El conocimiento de la microtopografía permite determinar la zonación de los distintos tipos fisonómicos y especies a lo largo de un perfil de vegetación (Flores Verdugo *et al.*, 2007). Agraz-Hernández (1999) mencionan que los cambios microtopográficos establecen un conjunto de interacciones fisicoquímicas; tales como la salinidad intersticial, hidroperíodo, mareas y tipo de sustrato.

Los bosques de manglar de la laguna de Términos, registraron comportamientos distintos de acuerdo a su ubicación dentro de la laguna. De esta manera, en Sabancuy se exhibe depresión topográfica de -1.1 a -3.6 cm de la orilla del agua hacia la parte interna del perfil, con dominancia de *A. germinans.* Similar comportamiento fue registrado en los humedales de Xibujá, al caracterizarse su hidrológia por inundaciones vía laminar y subterranea. Puesto que el nivel microtopográfico se encuentra por debajo del NMM, con -11.09 a -0.1 cm. Por esta razón domina *R. mangle* y se presenta *L. racemosa* (especies demandantes de inundación) y hacia la parte interna *A. germinans.* Con respecto al humedal de Estero Pargo, éste exhibe comportamiento similar al humedal de Río Verde; mayor inundación en los bosques que bordean a la línea de costa (dominancia de *R. mangle*), con -10.5 a 1.1 cm, incrementandose el nivel del suelo hacia la parte interna del perfil (dominancia de *A. germinans.* **Tabla 3**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

En Champotón se detecta en el perfil de vegetación diferencias microtopográfica entre el bosque que bordea la línea de costa e interno, de -3.2 cm. Es por ello que el nivel de inundación favorece la dominancia de *R. mangle* en todo el perfil de vegetación, al mantenerse condiciones oligohalinas con tendencia a mesohalinas. Puesto que el nivel permanece por debajo del NMM (cero).

De manera particular, los bosques de mangle ubicados en Petén Neyac registraron una diferencia microtopográfica entre franjas (1 y 2) de tan solo 1.7 cm. Como respuesta de esta diferencia se establece un tipo fisonómico borde en la franja que bordea la línea de costa, con dominancia de *Rhizophora mangle* y hacia la parte interna del perfil un bosque tipo cuenca-matorral con dominancia de *R. mangle* y presencia de *Avicennia germinans.* La dominancia de *R. mangle* es derivado de la disminución de la frecuencia y amplitud de inundación, sin cambio en las condiciones estuarinas; escenarios poco óptimos para *A. germinans* (**Tabla 3)**. Resultados similares fueron registrados por Agraz Hernández (1999) al encontrar diferencias microtopográficas de 3 cm, entre bosques tipo borde a matorral a lo largo de un perfil de vegetación en el estado de Sinaloa.

Por otra parte, los bosques de mangle ubicados en Río Verde exhiben un incremento en el nivel microtopográfico de 4 cm, partiendo de la línea de costa; resultado de estas condiciones la dominancia de *R. mangle*, al presentarse mayor frecuencia y amplitud de inundación en la orilla, con respecto a la parte interna del perfil. Estableciéndose una dominancia de *A. germinans* en la parte interna, especies tolerante a mayor concentración de la salinidad, condiciones más reductoras en el agua intersticial y menor inundación (**Tabla 4)**.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 4. Distribución del nivel microtopográfico a través de perfiles de vegetación en los bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche.

Sitio	Franja	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Promedio (cm)
Sabancuy, Laguna de Términos.	1	-1.1	1.6	0.4
Sabancuy, Laguna de Términos.	2	-3.6	3.9	-0.8
Xibujá, Laguna de Términos.	1	-11.9	-0.1	-3.1
Xibujá, Laguna de Términos.	2	-0.8	1	-0.0
Estero Pargo, Laguna de Términos.	1	-10.5	1.1	-2.8
Estero Pargo, Laguna de Términos.	2	-1.8	3.2	0.1
Atasta, Laguna de Términos.	1	-3.8	2.3	-0.5
Champotón, Campeche.	1	-5.6	8.8	0.2
Champotón, Campeche.	2	-2.4	3	0.1
Petén Neyac. Reserva de la Biósfera Los Petenes	1	-13.9	5.6	-2.0
Petén Neyac. Reserva de la Biósfera Los Petenes	2	-5.3	3.2	-0.3
Río Verde. Reserva de la Biósfera Los Petenes	1	-9.5	-3.2	-5.3
Río Verde. Reserva de la Biósfera Los Petenes	2	-5.5	2.5	-1.3

5.1.3. Niveles de inundación (neumatóforos y lenticelas)

En general se exhibe una tendencia de mayor altura y densidad de neumatóforos, así como número de lenticelas en los humedales de mangle ubicados en el sistema lagunar de Términos, en comparación a los evaluados en la Reserva de la Biosfera los Petenes. Misma tendencia general se establece a lo largo de los perfiles de vegetación. Esto como respuesta del incremento en el nivel topográfico, disminución y frecuencia de la inundación y por ende valores de potencial redox menores (condiciones más reductoras) hacia la parte interna del perfil.

El caso de los humedales de mangle del sistema lagunar de Términos en las franjas donde se detectó mayor nivel topográfico, se exhibió mayor densidad y altura de neumatóforos, o mayor número de lenticelas (*e.g*. Estero Pargo, y Xibujá. **Tabla 5**). Esto como respuesta del incremento en la salinidad, condiciones más reductoras o con menor amplitud o frecuencia de inundación, así como menor aporte de agua dulce (**Tabla 5**).

En la Reserva de la Biósfera Los Petenes, se establece la mayor densidad y altura de neumatóforos en el bosque con *Avicennia germinans* ubicado en Río Verde. Lo anterior derivado menor nivel microtopográfíco en el bosque del borde, aunque mayor inundación,

las condiciones son mas reductoras (anóxicas). Caso contrario en los bosques de Petén Neyac, pues se registra menor número de lenticelas en los bosques internos del perfil, pues este sitio recibe mayor cantidad de agua dulce vía subterránea de la cuenca media (**Tabla5**).

Tabla 5. Densidad y altura de neumatóforos, y número de lenticelas de los bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche. Franja 1: bosque borde. Franja 2: bosque interno.

Sitio	N° Franja	Densidad (Indv/m^2)	Altura (cm)	Número Lenticelas(m^2)
Atasta	1	200	17.1	71
Estero Pargo	1	80	24.6	97
	2	320	28.9	176
Xibujá	1	240	24.1	51
	2	120	22.5	72
Sabancuy	2	160	30.8	152
Petén Neyac	1	120	15.3	66
	2	80	13.3	40
Río Verde	2	200	23.4	85

5.1. FASE DE MONITOREO MENSUAL

5.2.1. Parámetros químicos del agua intersticial

De manera general durante el período de noviembre de 2013 al 2016, los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial entre las localidades en estudio establecieron un comportamiento heterogeneo, con respecto a la concentración de la salinidad, condiciones de oxido reducción, pH y temperatura ($p<0.0001$, **tabla 6**). Lo anterior debido a las diferencias en el nivel topográfico, frecuencia, amplitud y período de mareas, precipitación (**Fig. 61, tabla 5**), aporte de agua dulce, tasa de evaporación y temperatura (Agraz-Hernández y Flores-Verdugo, 2005). Como respuesta biológica a esta heterogeneidad los atributos forestales (densidad y área basal) de los bosques de mangle, difieren a largo del litoral de Campeche y a través de perfiles de vegetación. Lo anterior aunado al comportamiento del pH y temperatura, debido a que las características químicas del agua intersticial en los manglares, establecen condiciones ácidas. Esta acidez, está relacionada con la degradación de la materia orgánica y la entrada de los sulfatos proveniente del agua de mar. Puesto que al entrar al humedal el agua de mar, en presencia de materia orgánica se forma ácido sulfhídrico, cuando estos son expuestos a condiciones de secado (bajamar), aceleran la oxidación

bioquímica de los materiales orgánicos y de los sulfhídricos, en conjunto de la entrada de agua dulce con pH ácido (Suprayogi y Murray, 1999; Batlle-Sales *et al.*, 1994; Moreno *et al.*, 2002); comportamientos expuesto en las localidades en estudio.

De esta manera, en las tres áreas en estudio (Área de Proteccion de Flora y Fauna laguna de Términos "APFyFLT", Champotón y Reserva de la Biósfera Los Petenes "RBLP"), durante el período de noviembre de 2013 a diciembre de 2016, se registraron diferencias significativas entre las concentraciones de salinidad y potencial redox ($p<0.0001$, **tabla 5**). Derivado de la menor salinidad y mayor disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua intersticial en los ríos de Atasta (-352.40±35.6 mV y 16±4 UPS) y Champotón (-347.60±34.94 mV y 23±7 UPS), caso inverso hacia la zona norte del estado, estableciendose mayor salinidad y menor disponibilidad de oxígeno río Verde (-348.30±27.99 mV y 54±9 UPS. **Tabla 6**).

En particular durante los años 2014 y 2015, 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, presento una relación inversamente proporcional a la tendencia de la estructura forestal y a la concentración del oxígeno disuelto en el agua intersticial (valores del potencial redox); definiéndose condiciones de oxícas a hipoxicas-oxícas (de Atasta hacia Peten Neyac) (**Figs. 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27,28 y 29**). Con excepción Champotón que no se incluye en la tendencia general antes descrita, al registrar anualmente 23±4 UPS. Esta tendencia general es consecuencia de las diferencias que exhiben entre los sitios; 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 y el tipo de presión antrópica que se efectué por sitio.

Para el año 2016, la tendencia de incremento en salinidad y disminución de las condiciones de oxido-reducción en el agua intersticial a lo largo del perfil de vegetación continua en todos los sitios analizando este cambio desde el año 2013, pero en menor grado (Ver apartado de variación interanual). Esto derivado del incremento topográfìco, menor amplitud y frecuencia

de inundación por la marea, por la cantidad de aporte de agua dulce por escurrentia, vía subterránea ó ambas y mayor evaporación (**Figs. 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27,28 y 29)**. Autores como Flores Verdugo *et al.* (1997) y Agraz Hernandez *et al*. (2011) han descrito ampliamente este comportamiento en bosques de mangle en la Mancha, Veracruz.
En específico, en el caso de las localidades ubicadas en el APFyFLT durante el período de noviembre de 2013 a noviembre de 2016, el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos entre los sitios en estudio fue heterogéneo. En el humedal ubicado en Sabancuy se registró tiempo de residencia del agua alto, con problemas de asolvamiento. Esto, al establecerse poca comunicación con el mar a través de las mareas, ocasionando la disminución del oxígeno disuelto en el agua intersticial en el sitio (**Figs. 17,18**).

El humedal de mangle de Xibujá, registró aumento en la disponibilidad del oxígeno disuelto en el agua intersticial a través de los años; es decir, se establece un valor promedio anual de -366.38±9.5 mV (2014) a -305.0±28.8mV (2015) y -259.0±52.86 mV (2016) a lo largo del perfil de vegetación; no así para la salinidad, la cual establecio un patrón de incremento en concentración del 2014 al 2016 (42±3UPS a 45±4 UPS).

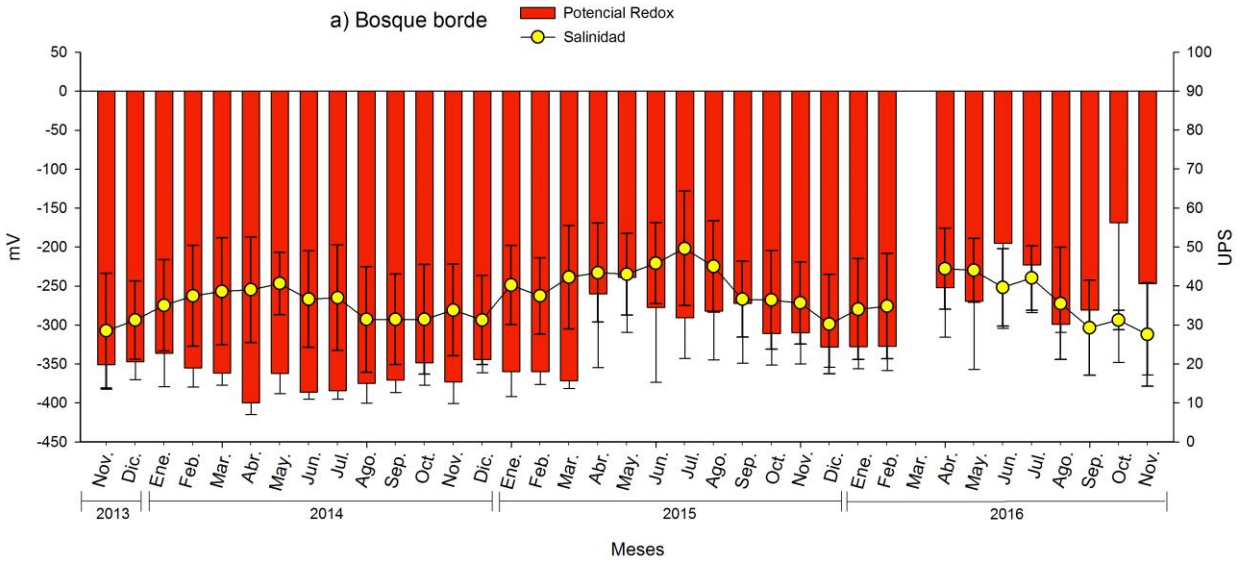

Figura 17. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa ubicado en Xibujá en la laguna de Términos, Campeche.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

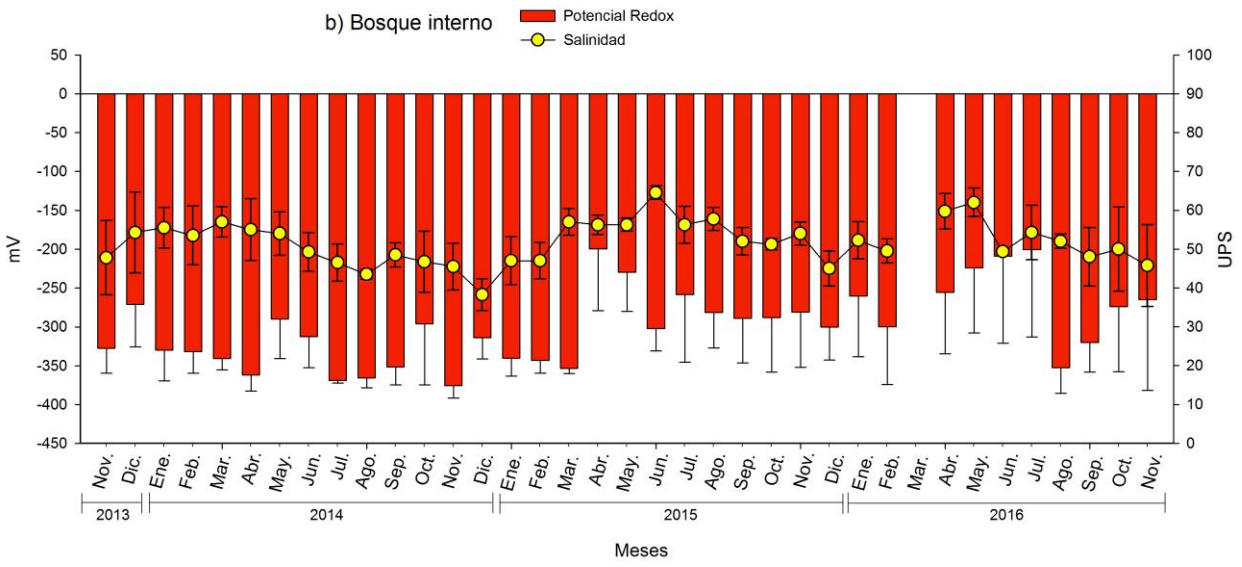

Figura 18. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno ubicado en Xibujá en la laguna de Términos, Campeche.

En el caso del humedal de Estero Pargo, el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos a través del perfil de vegetación, estableció valores reductores durante el 2014 (-363.11±25.6mV), y para el 2015 y 2016 la captación de oxígeno incrementó de -338.54±30.1 mV (2014) a -332.7±39.2 mV (2015). En el caso de la salinidad, a través de los años se registra un incremento de 6 UPS del año 2014 al 2016.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

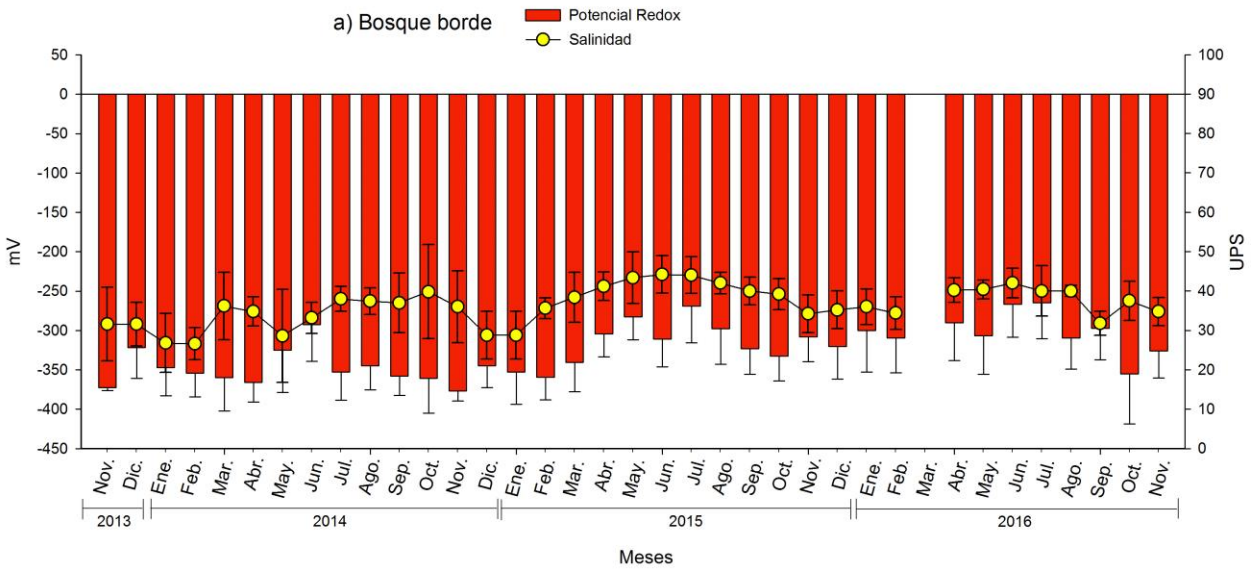

Figura 19. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa del perfil de vegetación en Estero pargo en la laguna de Términos, Campeche.

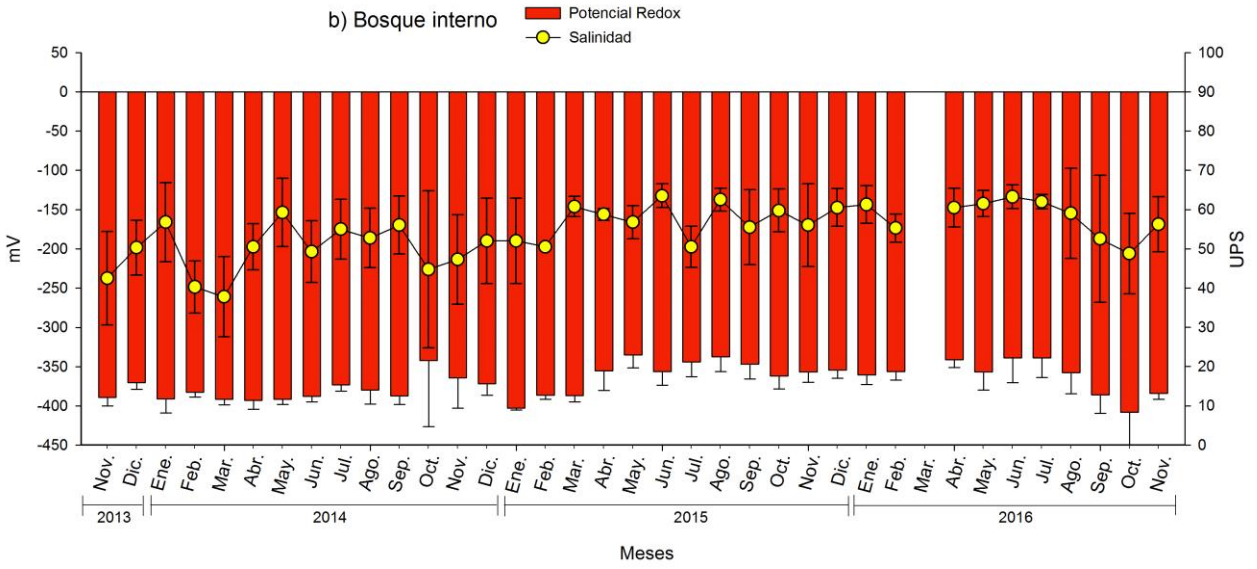

Figura 20. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación en Estero pargo en la laguna de Términos, Campeche.

Por otra parte, en los bosques de mangle que bordean en el estero de Sabancuy, se genera mayor evaporación del agua como consecuencia de la fragmentación por la carretera 180 Matamoros Puerto Juarez, es por ello que a través de los años en el humedal de Sabancuy, el

promedio anual de la salinidad se ha mantenido por arriba de las 53 UPS (2014=53±1 UPS, 2015=54.3±4 UPS, 2016=53.4±4 UPS). Lo anterior, como consecuencia a su vez de los cambios hídricos que se han venido dando por el desarrollo de las actividades antropogénicas adyacentes a este humedal (por acumulaciones de desechos sólidos, tala de árboles, aportes de residuos agrícolas y ganaderos), intrusión salina al filtrarse el agua de mar hacia el humedal de Sabancuy por la duna (**Fig. 15 y 16**) y principalmente por la tala intensa.

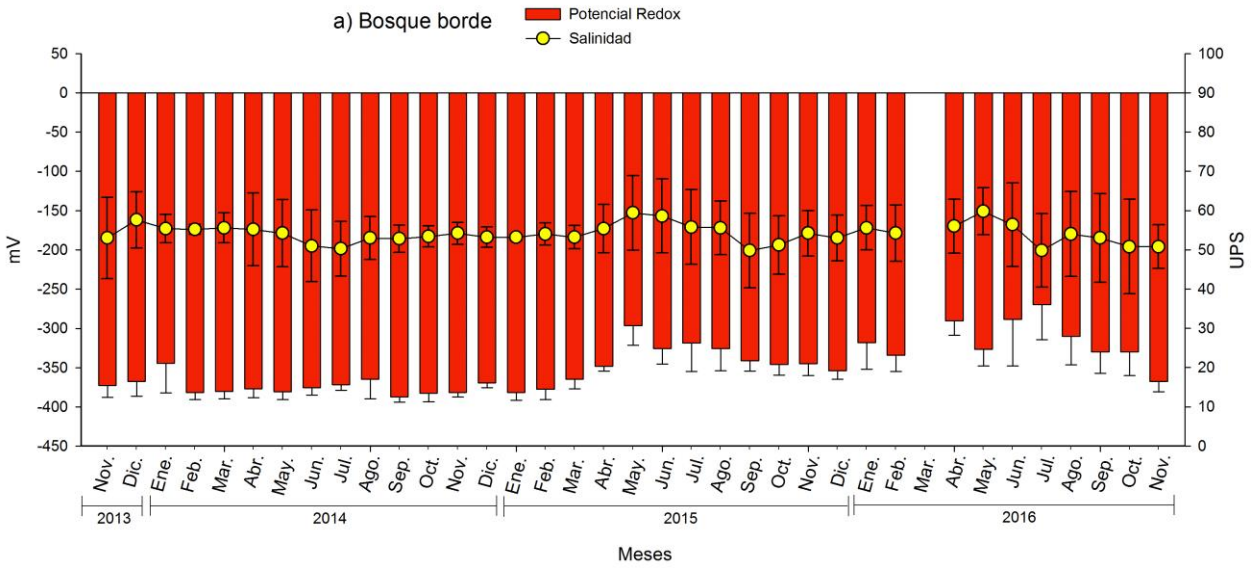

Figura 21. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a línea de costa ubicado en Sabancuy en la laguna de Términos, Campeche.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

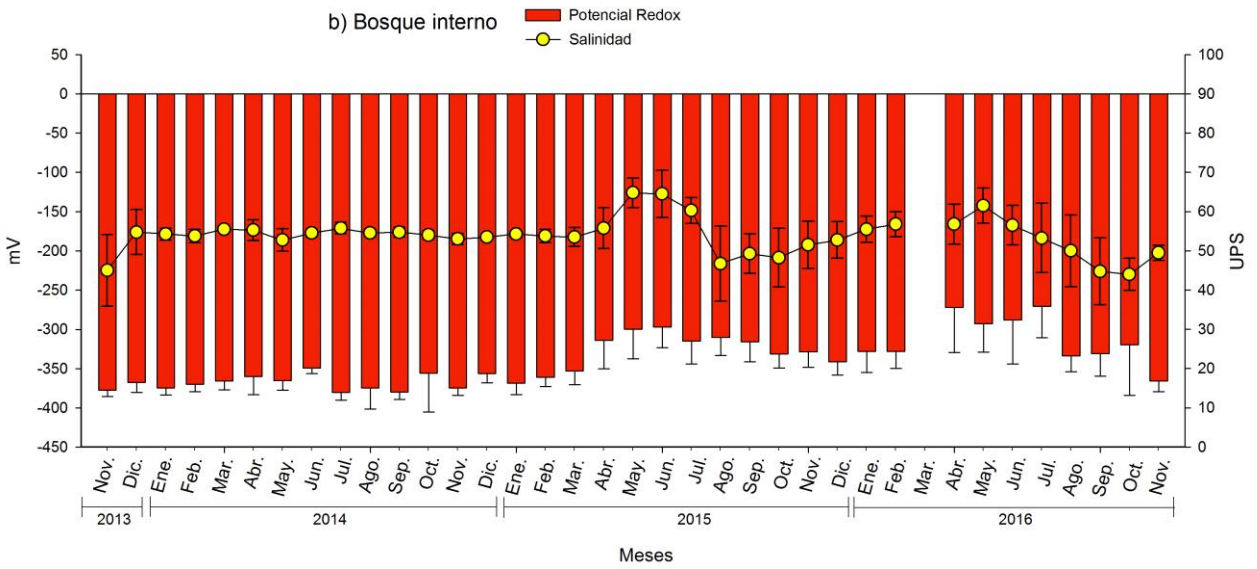

Figura 22. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno ubicado en Sabancuy en la laguna de Términos, Campeche.

Es importante señalar que únicamente Atasta, ha mantenido condiciones óxicas a través de los años en estudio; es decir, durante el 2014 el potencial redox estableció -179.37±3.83 mV, en el 2015 -145.46±10.18 mV y -141.43±8.72 mV durante el 2016. La concentración de la salinidad desde el 2014 hasta el 2016 no presenta cambios significativos (**P>0.05. Tabla 6.** De 19±2 UPS, 21±3 y 23±2 UPS, para el 2014, 2015 y 2016, respectivamente). Lo anterior, en respuesta a los aportes constantes agua dulce proveniente de los ríos Palizada y Usumacinta (**Fig. 21**). 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 propiciando la disponibilidad de fosfatos (fundamentalmente para la producción de tejido fotosintético) y otros nutrientes en estado de oxidación, como los nitratos.

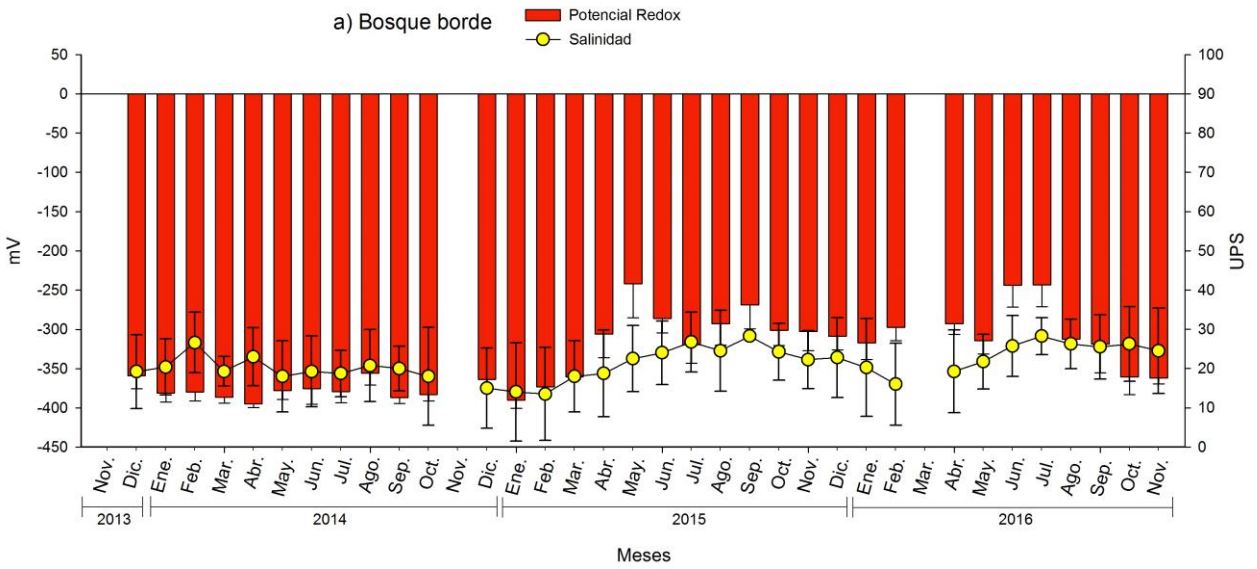

Figura 23. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en un bosque que bordea la línea de costa ubicado en Atasta en la laguna de Términos, Campeche.

Con respecto a los bosques de mangle que componen el perfil de vegetación en el río Champotón, éstos establecieron tendencias oligohalinas (20±3 UPS) e hipoxicas (-358.8±14.3 mV) en el 2014, condición que se mantiene en los años consecutivos, pero no asi con la salinidad al incrementar de 4 UPS del 2014 al 2016, incremento menor en comparación a Estero Pargo (6 UPS). Esto atribuido principalmente al cambio precipitacion que se ha venido registrando a lo largo del Estado de Campeche (Agraz Hernandez et al., 2015 y Agraz Hernández et al., (*en prensa*).

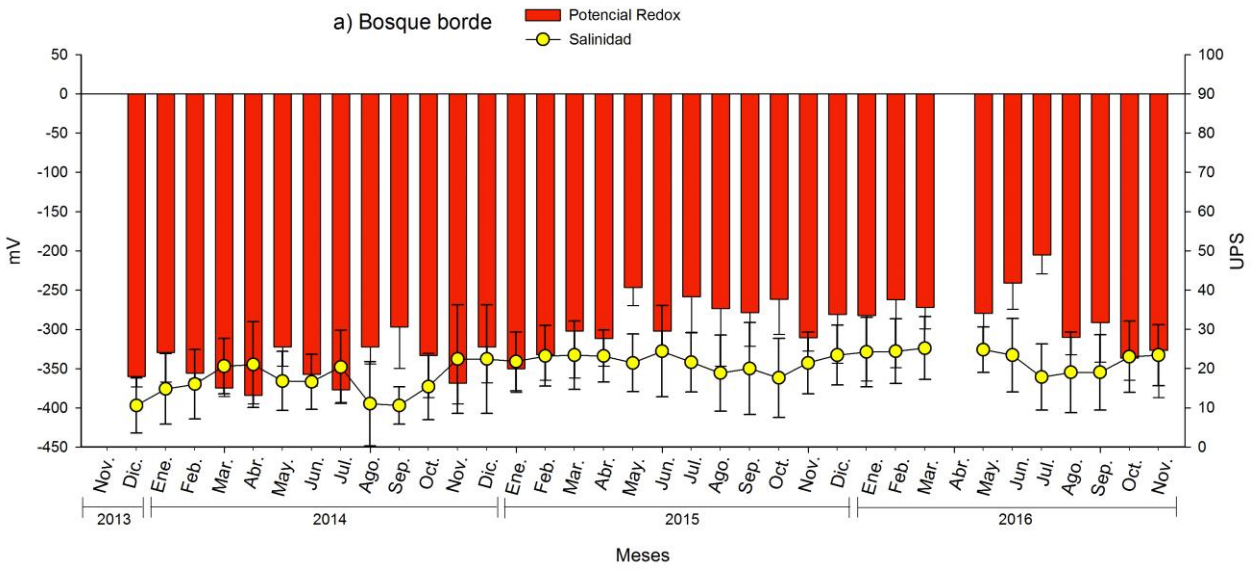

Figura 24. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea al canal del Río en Champotón, Campeche.

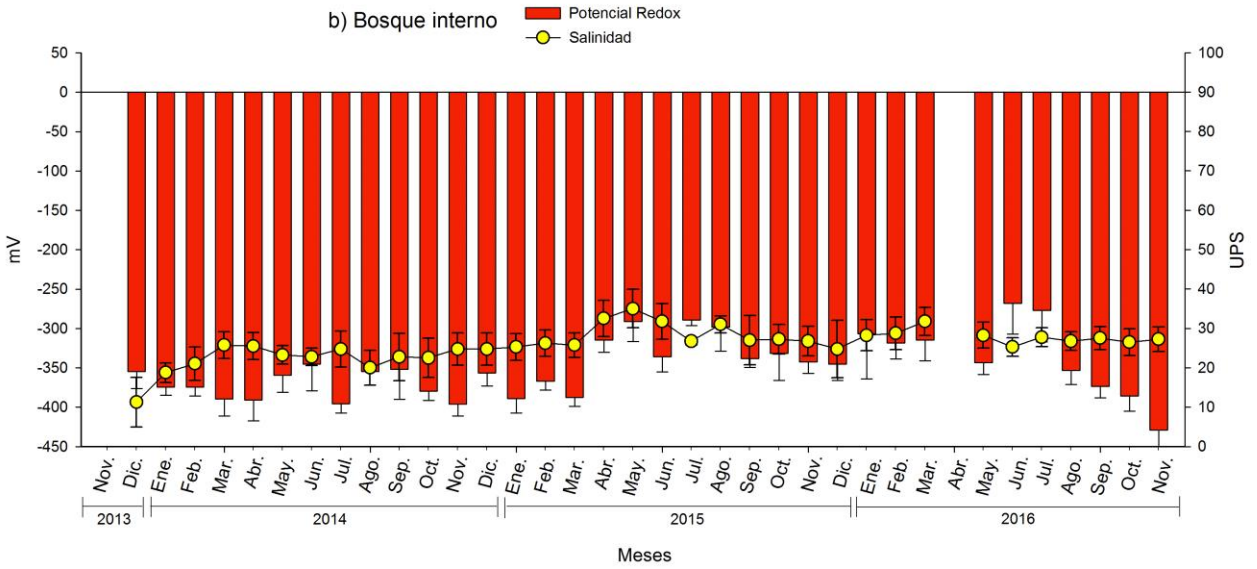

Figura 25. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación en Champotón, Campeche.

En específico, las localidades ubicadas en la RBLP de noviembre del 2013 a noviembre del 2016, exhibieron tendencias mesohalinas-ehualinas en los bosques de manglar cercanos al mar, así como de tipo ehualinas con tendencia hiperhalinas en la parte interna de los bosques (**Figs. 24 y 25**); con mayores salinidades a través de los años en estudio en el humedal de

Río Verde (54±4 UPS, año 2014), con respecto al sitio de Petén Neyac (47 ±.2 UPS, año 2014)**;** **56**±5UPS en el año 2015 y 56±3 UPS en el 2016.

El comportamiento a lo largo del perfil de vegetación en los manglares de la RBLP es debido al incremento en la microtopografía y menor hidroperíodo hacia los bosques internos, aumentando la tasa de evaporación, concentración de sales en el agua y suelo. Es importante recordar que en las localidades de la RBLP los bosques de la parte interna son de tipo cuenca y matorral con dominancia de la especie de *A. germinans*, precisamente por la menor inundación (frecuencia y amplitud), condiciones reductoras, mayor evaporación y salinidad. Aunado a que los bosques de RBLP se encuentra distribuidos a lo largo del litoral, frente al mar y con mayor influencia del agua dulce vía subterránea debido a las condiciones "*karsticas"* del suelo, contrario a los bosques ubicados en el sistema lagunar de Términos. 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 la fisiologia de la planta.

Por otra parte, en los bosques internos de los dos perfiles de vegetación en la RBLP, presentó condiciones más reductoras (más anóxicos) que aquellos que bordean la línea de costa, durante el período en estudio (**Figs. 27 y 28**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

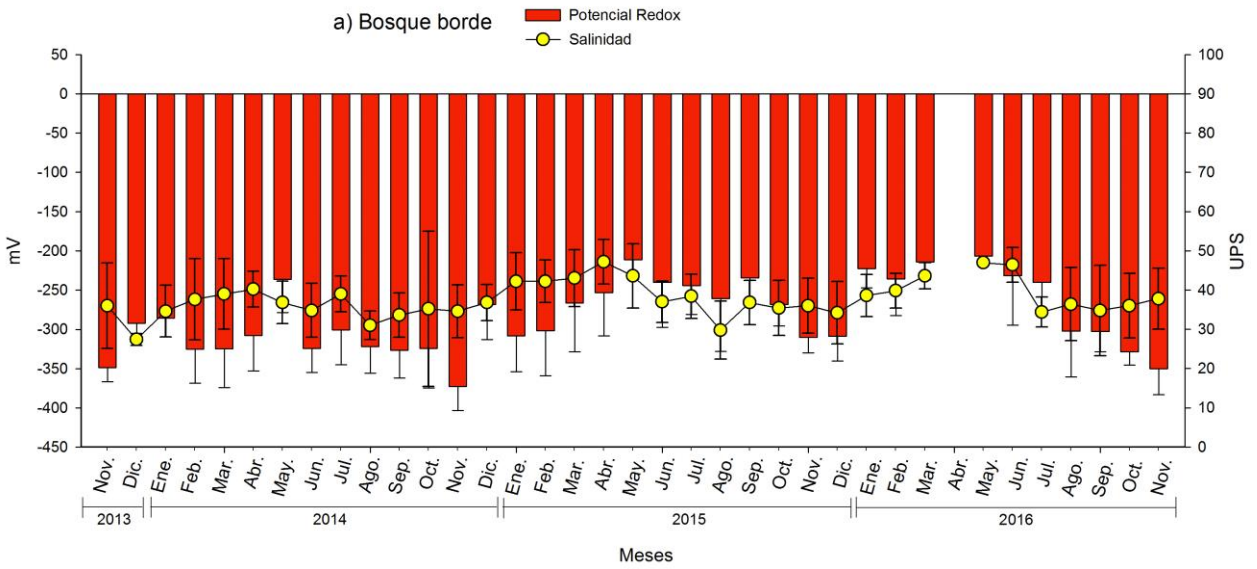

Figura 26. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa del perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche.

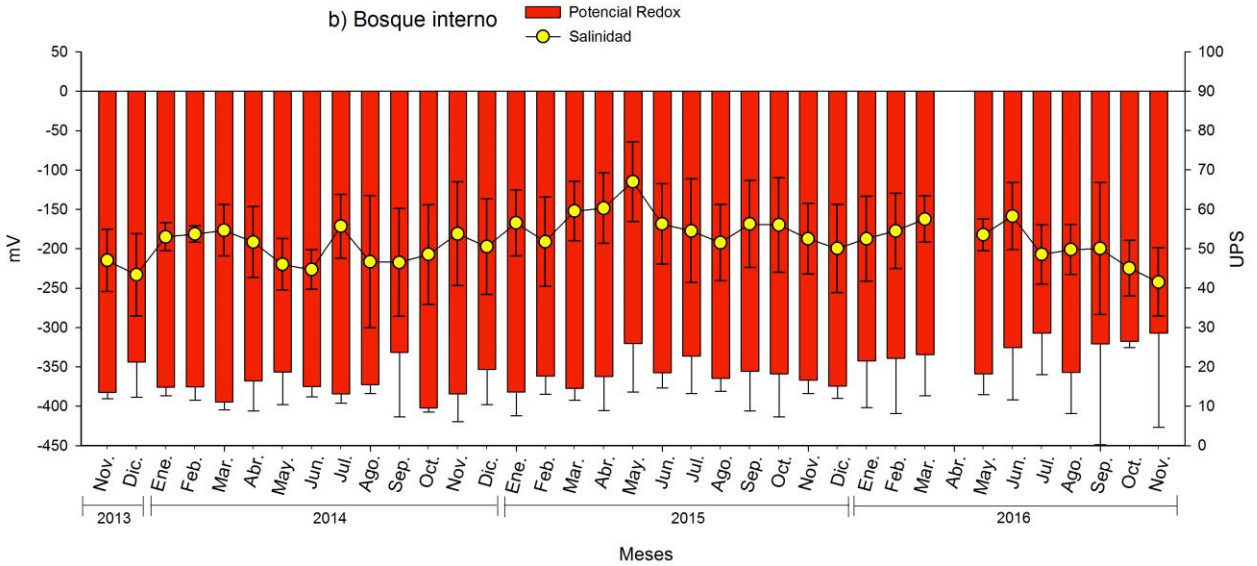

Figura 27. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

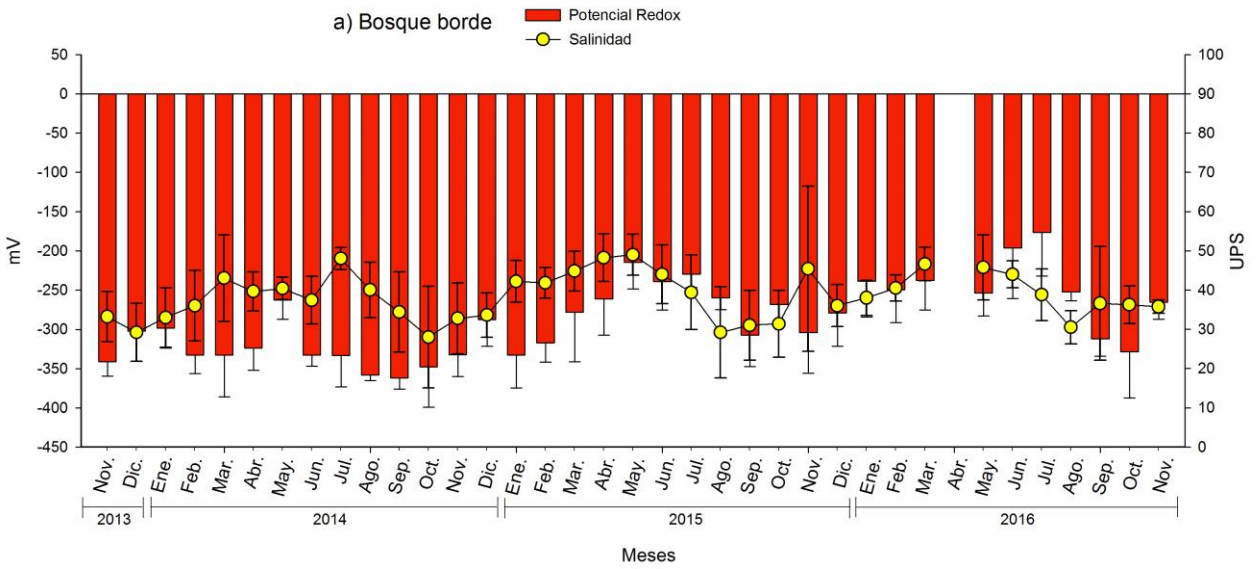

Figura 28. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque que bordea a la línea de costa del perfil de vegetación ubicado en Río Verde, Campeche.

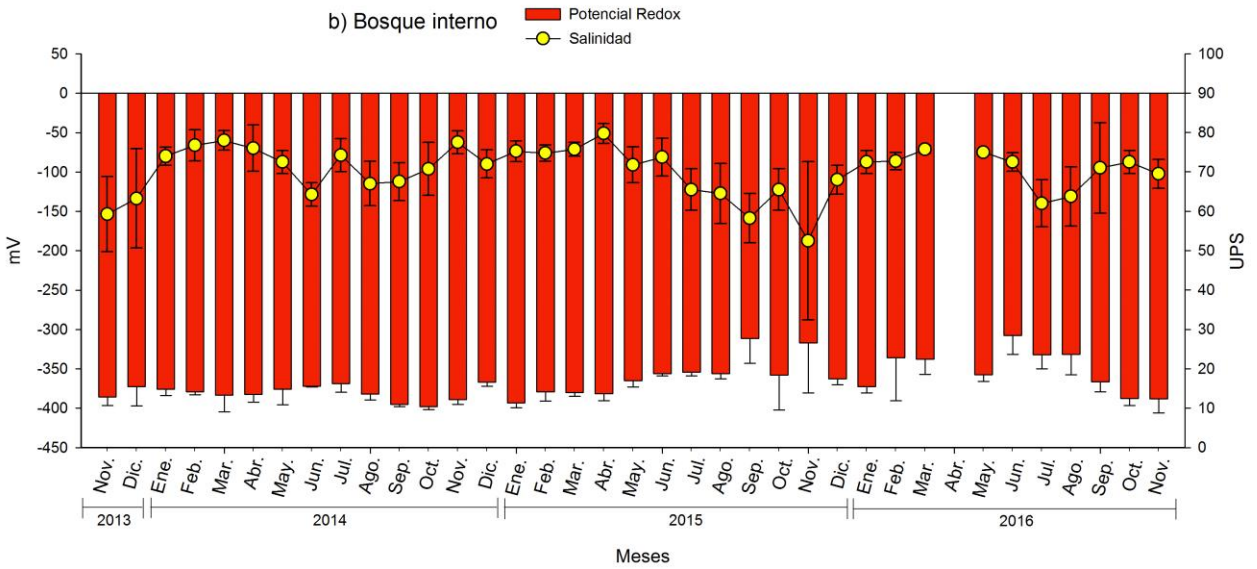

Figura 29. Comportamiento de la salinidad y potencial redox del agua intersticial en el bosque interno del perfil de vegetación ubicado en Río Verde, Campeche.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Variación inter anual

Las variaciones inter anuales de los parámetros fisicoquímicos entre los años de estudio del agua intersticial, son atribuidas en gran medida a la variaicón climática. Esto validado al aplicar un análisis multifactorial clásico con rotación varimax (AMCV); pues los resultados de este, establecen como factores determinantes en los años 2014, 2015 y 2016 a la temperatura, concentración de salinidad y el pH. Es importante señalar que la salinidad registró un incremento del año 2013 al 2016 en todos los sitios de estudio (7 UPS); en específico del año 2014 al 2015, la salinidad exhibió un incremento de 3±2 UPS; y de 4±2 UPS entre el 2015 y 2016; así como entre sus estaciones el año. Definiendose valores máximos durante la temporada de secas del 47±5 UPS (**Tabla 5**). A pesar de lo antes mencionado, se reporta mayor oxígeno disuelto durante el 2016 (-296.83± 25.3) en comparación a los años 2014 (-365 ± 36 mV) y 2015 (-328.24± 51.5mV). Finalmente, se detectó una temperatura anual durante el 2014 de 26.5 ±1.5 °C, incrementando tan solo 0.4 °C durante el 2015 (26.9 ±1.5 °C), y 0.5°C en el 2016, pero con mayor variación (26.9 ±2.1 °C. **Tablas 6 y 7. P>0.05**)

Al respecto, Agraz Hernández *et al.* (2015) indica que las variaciones de los parametros fisicoquímicos del agua intersticial en los bosques que bordean el litoral del Campeche, es debido al desplazamiento en la precipitación anual e interanual de los efectos de la variación climática: tales como cambios en el patrón de precipitación.

A continuación se describen los resultados obtenidos en el AMCV:

Año 2014:

F2 (30.3 %) = 0.485*Redox (mV) **- 0.866*pH + 0.558*Temperatura (ºC) + 0.19063*Salinidad (‰)**

Año 2015:

F2 (24%) = 0.007*Redox + 0.594*pH **- 0.916*Temperatura (ºC) - 0.184*Salinidad (‰)**

Año 2016:

F2 (29%) = 0.257*Redox (mV) **+ 0.700*pH + 0.764*Temperatura (ºC) + 0.148*Salinidad (‰)**

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 6. ANOVA de 3 vías de prámetros fisicoquímicos, factor 1 con 7 niveles: sitios (Petén Neyac, Río Verde, Champotón, Xibuja Sabancuy, Estero Pargo y Atasta) factor 2 con 3 niveles: Épocas del año (lluvia, norte y seca); factor 3 con 3 niveles: años (2014, 2015 y 2016) en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial del litoral del estado de Campeche con un nivel de significancia α=0.05*, α=0.0001**

Factor	gl	Potencial redox (mV)		Salinidad (UPS)		Precipitación (m^3)	
		F	P	F	P	F	P
Efectos principales							
A:Sitios	6	23.20	0.00001**	331.67	0.00001**	13.94	0.00001**
B:Año	2	109.49	0.00001**	6.41	0.0018*	5.17	0.0061*
C:Epoca del año	2	30.88	0.00001**	4.39	0.0130*	124.87	0.00001**
Interacciones							
AB	12	1.52	0.1134NS	2.08	0.0174*	3.45	0.0001**
AC	12	0.58	0.8615NS	3.20	0.0002**	0.93	0.5122 NS
BC	4	13.79	0.00001**	4.68	0.0011*	3.72	0.0056*
ABC	24	1.13	0.3040NS	1.72	0.0194*	4.08	0.00001**
Residuos	376						
Total (Corregido)	438						

Tabla 7. ANOVA de 3 vías de prámetros fisicoquímicos, factor 1 con 7 niveles: sitios (Petén Neyac, Río Verde, Champotón, Xibuja Sabancuy, Estero Pargo y Atasta) factor 2 con 3 niveles: Épocas del año (lluvia, norte y seca); factor 3 con 3 niveles: años (2014, 2015 y 2016) en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial del litoral del estado de Campeche con un nivel de significancia α=0.05*

Factor	Gl	pH		Temperatura (ºC)	
		F	p	F	p
Efectos principales					
A:Sitios	6	6.21	0.00001**	3.89	0.0009**
B:Año	2	15.55	0.00001**	0.88	0.4154NS
C:Epoca del año	2	4.32	0.0140*	50.41	0.00001**
Interacciones					
AB	12	1.48	0.1279NS	0.56	0.8757NS
AC	12	0.65	0.7986NS	0.97	0.4763NS
BC	4	9.47	0.00001**	2.31	0.0572NS
ABC	24	1.11	0.3327NS	0.57	0.9483NS
Residuos	376				
Total (Corregido)	438				

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

5.2.2. Parámetros biológicos

5.2.2.1. 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, en específico lluvias o durante la sequía prolongada (Flores-Verdugo, 1985; Day *et al.*, 1996; López-Portillo y Ezcurra, 2002 y Agraz Hernández *et al.*, 2011). Asimismo, las diferentes especies y tipos fisonómicos producen diferente biomasa vegetal, tal como fue observado en este estudio.

Con la finalidad de establecer la cantidad de hojarasca (materia orgánica disponible) que se aporta hacia el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos (APFyFLT), Champotón y la Reserva de la Biosfera los Petenes (RBLP), se monitoreo la productividad primaria en términos de caída de hojarasca. Observándose los máximos aportes de materia orgánica para los tres ciclos anuales en estudio, durante la época de lluvias (2014, 2015 y 2016). Al respecto, García Zaragoza en el año 2007, reportó en los bosques de la Mancha Veracruz, que el aporte de materia orgánica a través de la hojarasca está en función del intercambio e intensidad de entrada del agua dulce (y por ende de nutrientes); enfatizando un gradiente de productividad de la orilla al interior del bosque, correspondiente a la estructura forestal a través de perfiles de vegetación, patrón encontrado para las localidades en estudio.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

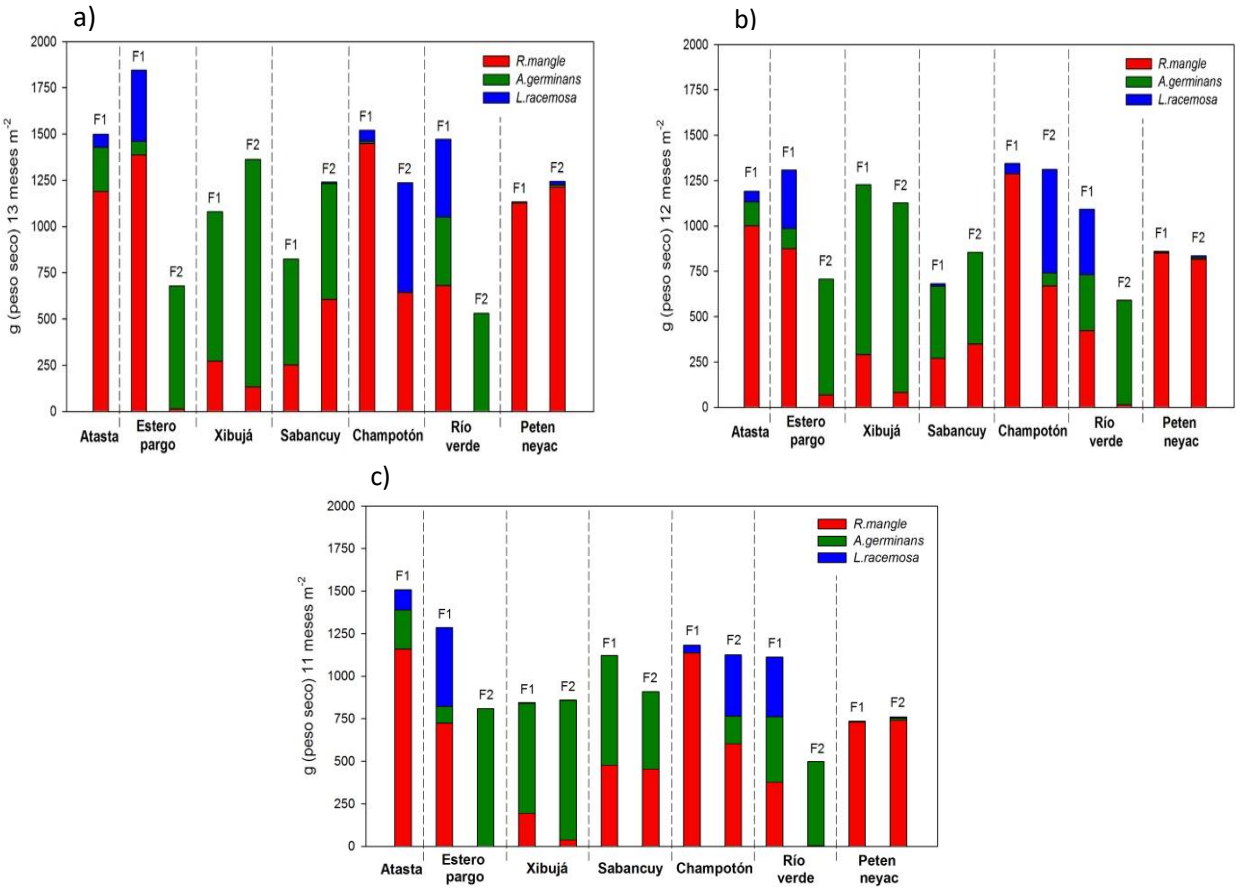

Figura 30. Producción total anual de hojarasca en bosques de mangle que bordean el litoral de Campeche durante tres ciclos anuales (a) 2014, b) 2015) y c) 2016 (enero a noviembre del 2016). F1=bosque borde. F2= bosque interno.

El comportamiento antes citado ha sido reportado en estudios realizados por Cintrón y Shaeffer-Novelli (1983), Twilley *et al.* (1986) y Zaldívar *et al.* (2004) en diferentes sitios. Así mismo, estas diferencias en aporte de hojarasca en las distintas franjas de manglar por localidad, están estrechamente relacionadas con factores como la microtopografía que influyen positiva o negativamente en la salinidad intersticial y la frecuencia y nivel de inundación. Al respecto, Agraz-Hernández et al. (2011) y Lacerda *et al.* (2001) mencionan que las diferencias en aporte de hojarasca por tipo fisonómico o por especie puede deberse a diferentes factores, tales como la salinidad del agua intersticial, microtopografía, precipitación, frecuencia y nivel de inundación, tipo de sustrato, tasa de evaporación,

presencia de tormentas, huracanes y a los aportes de nutrientes a través de fuentes alóctonas y por origen antrópico.

En un marco general, en los tres años de estudio (2014, 2015 y 2016) el mayor aporte de hojarasca en el sistema lagunar de Términos se detectó en los bosques de mangle ubicados en Atasta y Estero Pargo (como antes fue mencionado) y para la Reserva de la Biosfera los Petenes, en Peten Neyac en los años 2014 y 2015. Este comportamiento se mantiene hacia el 2016. Similares producciones fueron detectados por Day et al. (1987) y Coronado Molina (2000) con 10.3 ton. ha^{-1}. $año^{-1}$ en la laguna de Términos, Campeche. En el caso de los ecosistemas de manglar de la Rerserva de la Biosfera los Petenes, Gaona Pineda (2006) reportó igual producción de hojarasca para Río Verde, con 12.7 ton. ha^{-1}. $año^{-1}$, siendo *R. mangle* la especie con mayor aporte (72% del total. **Fig**.**30**).

En específico durante los años 2014, y 2015, en el litoral de Campeche, las máximas producciones de hojarasca, se registraron en los sitios con aporte de agua dulce proveniente de ríos o aportes de agua superficial importantes; con un promedio de 10.1, 11.2 y 12.5 ton. ha^{-1}. $año^{-1}$ en Atasta, Estero Pargo y río Champotón, respectivamente (**Fig. 30**). Las menores producciones se detectaron en Sabancuy, Xibuja y río Verde, con 4.1, 6.8 y 5.9 ton. ha^{-1}. $11meses^{-1}$ al recibir agua dulce subterránea o laminar, correspondientemente (**Fig. 30**). Con respecto al 2016, Atasta registra un incremento de 4.9 ton. ha^{-1}. 11 $meses^{-1}$ sobre el 2014 y 2015, a su vez se estimó un promedio de 10.4 y 11.5 ton. ha^{-1}. 11 $meses^{-1}$ para Estero Pargo y río Champotón. Por otra parte, Xibujá, río Verde, P.Neyac registraron las menores producciones de 8.5, 8 y 5 ton. ha^{-1}. $11meses^{-1}$, respectivamente. Lo anterior debido a la perdida de energía de los árboles de *Rhizophora mangle* como especie dominante en el sitio, durante el proceso de ultrafiltración, ante el incremento y mayor concentración de la salinidad, disminuyendo con ello la produccion de la biomasa vegetal.

Con respecto la mayor producción de los componentes de la hojarasca se determinó en el tejido vegetal, con máximo en Estero Pargo, Río Verde y Champotón, < 40% para el 2014. En los bosques de Atasta, Sabancuy, Xibuja, Peten Neyac desde 26.9% hasta 34.5% en el 2014. En el caso del 2015, se estableció la mayor producción de hojas en los sitios de laguna

de Términos y Champotón (desde 39.5 hasta 53%, cifra menor al 2014) y la menor en los sitios de la Reserva de la Biosfera los Petenes (de 31.9 a 23.5%, cifra menor al 2014) (**Fig. 30**). La diminución en la producción de hojas entre el 2014 y 2015 es atribuido al incremento en la salinidad, puesto que en bosques donde domina *R. mangle* requiere mayor cantidad de energía para ultrafiltrar el agua, para poder compesar la mayor cantidad de sal disuelta en el agua y en el caso de *A. germinans*, el utilizar parte de la energía del recambio de hojas para excretar la sal a través de las glándulas de sal (Agraz Hernández 1999). Para el 2016, los bosques ubicados en Laguna de Términos registraron el máximo aporte de tejido vegetal, en Estero Pargo (comportamiento similar al año 2015) con un 6% sobre el 2015. Así mismo, en Champotón se registro un 10% de pérdida en producción en comparación al 2015, y del 13.5% sobre el 2014.

Variación inter anual de la producción de hojarasca

Es relevante mencionar que debido a la variación estacional de la precipitación (**Fig. 45**) se registran diferencias significativas entre los años y épocas del año 2014, 2015 y 2016 a lo largo del litoral de Campeche ($p < 0.05$, **tabla 8**) y entre los sitios en estudio ($p < 0.05$, **tabla 7**). Pues de manera general la producción de hojarasca, dismuyó más del 30.0% en los bosques del borde (franja 1) del 2014 al 2015, ubicados en río Verde y Estero Pargo, con dominancia de *Rhizophora mangle* y en menor efecto en los bosques de Atasta y Peten Neyac con dominancia de *R. mangle*, con 15.8 y 19.8% menos (**Fig. 30 y tabla 8**). Ya para el 2016, el patrón de producción se incrementa en un 2% y 6.7% para río Verde y Estero Pargo, respectivamente. En el caso de Atasta 21.3% y 19.2% para P. Neyac en el 2015 (**tabla 8**).

Por otra parte, los bosques en Sabancuy y Xibujá, con dominancia de *Avicennia germinans*, registran un 14.8 y 14.4% de menor producción de hojarasca del 2014 al 2015; y de 1.3% a 24.6% del 2015 al 2016 para ambos sitios. Para los bosques que bordea el caudal del río Champotón, con dominancia de *R. mangle*, tan solo disminuyó 3.1% del 2014 al 2015 y 10.1% del 2015 al 2016 (**Fig. 30 y tabla 9**). Al respecto, Agraz Hernández *et al*. (2015) registraron variaciones anuales y estacionales en la producción de hojarasca y comportamiento fenológico en un bosque monoespecífico de *R. mangle* durante el periodo

del 2006 al 2009. Esto como respuesta de la variación en el régimen de la precipitación y al cambio de la química del agua intersticial, derivado de esta variación. Por su parte, Chen *et al.* (2010) describe que los patrones de variación en la producción de hojarasca en un bosque tipo borde con dominancia de *S. caseolaris*, durante 10 años (1996-2005), atribuido a las anomalías que se han detectado en el régimen de la precipitación. En este mismo sentido, la producción de propágulos en todas las especies dominantes, presentes en los siete sitios en estudio, disminuyo en un <17% en el 2015, con respecto al 2014. Al respecto, Field (1995) y Ellison (2000) indican que los cambios en el comportamiento de la precipitación pueden ser originada por la variación climática, afectando el crecimiento y la sobrevivencia de los propágulos del mangle.

Tabla 8. ANOVA de 3 vías, factor 1con 7 niveles: sitios de muestreo (Pete Neyac, Río Verde, Champotón, Xibujá Sabancuy, Estero Pargo y Atasta), factor 2 con 3 niveles: años de muestreo (2014, 2015 y 2016); factor 3 con 3 niveles: Épocas de los años (Lluvia, Seca, Norte) en la producción fenológica de *R.mangle* ($g.m^{-2}.día^{-1}$) del litoral del estado de Campeche con nivel de significancias (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001).

Factor	Gl	Hojas ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Flores ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Propágulos ($g.m^{-2}.día^{-1}$)	
		F	p	F	p	F	p
Efectos principales							
A:Sitios	6	54.30	0.0001**	68.13	0.0001**	3.60	0.001*
B:Año	2	5.33	0.005**	3.90	0.021*	1.73	0.179 NS
C:Epoca del año	2	18.97	0.0001**	23.76	0.0001**	26.35	0.0001**
Interacciones							
AB	12	1.61	0.085 NS	1.14	0.326 NS	0.94	0.503 NS
AC	12	3.39	0.0001**	4.58	0.0001**	2.83	0.001*
BC	4	0.83	0.508 NS	2.55	0.038*	2.62	0.034*
ABC	24	0.41	0.994 NS	0.78	0.768 NS	0.59	0.936 NS
Residuos	402						
Total (Corregido)	464						

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 9. ANOVA de 3 vías, factor 1con 7 niveles: sitios de muestreo (Pete Neyac, Río Verde, Champotón, Xibujá Sabancuy, Estero Pargo y Atasta), factor 2 con 3 niveles: años de muestreo (2014, 2015 y 2016); factor 3 con 3 niveles: Épocas de los años (Lluvia, Seca, Norte) en la producción fenológica de *A. germinans* ($g.m^{-2}.día^{-1}$) del litoral del estado de Campeche con nivel de significancias (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001).

Factor	gl	Hojas ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Flores ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Propágulos ($g.m^{-2}.día^{-1}$)	
		F	p	F	p	F	p
Efectos principales							
A:Sitios	6	75.58	0.0001**	10.57	0.0001**	10.57	0.0001**
B:Año	2	1.76	0.174	1.47	0.230 NS	1.47	0.230 NS
C:Epoca del año	2	8.67	0.0001**	18.39	0.0001**	18.39	0.0001**
Interacciones							
AB	12	0.90	0.544 NS	0.95	0.493 NS	0.95	0.493 NS
AC	12	1.72	0.060 NS	3.31	0.0001**	3.31	0.0001**
BC	4	0.45	0.770 NS	1.16	0.328 NS	1.16	0.328 NS
ABC	24	0.54	0.964 NS	0.65	0.897 NS	0.65	0.897 NS
Residuos	402						
Total (Corregido)	464						

Tabla 10. ANOVA de 3 vías, factor 1con 7 niveles: sitios de muestreo (Peten Neyac, Río Verde, Champotón, Xibujá Sabancuy, Estero Pargo y Atasta), factor 2 con 3 niveles: años de muestreo (2014, 2015 y 2016); factor 3 con 3 niveles: Épocas de los años (Lluvia, Seca, Norte) en la producción fenológica de *L.racemosa* ($g.m^{-2}.día^{-1}$) y hojarasca total del litoral del estado de Campeche con nivel de significancias (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001).

Factor	gl	Hojas ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Flores ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Frutos ($g.m^{-2}.día^{-1}$)		Hojarasca ($g.m^{-2}.día^{-1}$)	
		F	P	F	P	F	P	F	p
Efectos principales									
A:Sitios	6	10.99	0.0001**	13.46	0.0001**	2.12	0.050*	7.90	0.0001**
B:Año	2	1.77	0.172 NS	10.37	0.0001**	0.12	0.882 NS	3.21	0.041*
C:Epoca del año	2	2.61	0.074 NS	0.24	0.784 NS	1.23	0.293 NS	42.60	0.0001**
Interacciones									
AB	12	2.50	0.003*	13.23	0.0001**	1.31	0.208 NS	2.08	0.017*
AC	12	0.51	0.909 NS	0.38	0.971 NS	1.80	0.047*	1.13	0.335 NS
BC	4	0.17	0.954 NS	0.22	0.925 NS	1.08	0.368 NS	0.73	0.573 NS
ABC	24	0.51	0.974 NS	0.37	0.997 NS	0.97	0.509 NS	0.83	0.692 NS
Residuos	402								
Total (Corregido)	464								

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

En específico la producción de hojarasca se comportó entre las localidades de la APFyFLT en estudio, con diferencias significativas ($p< 0.05$, **tablas 8, 9 y 10**):

Sabancuy y Xibujá: Durante los años en estudio, los bosques de mangle ubicados en Sabancuy se caracerizan por producir la menor cantidad de hojarasca, asi como el establecer decrementos del 2014 al 2015, y un incremento en producción hacia el 2016, con valores que van de 823.8 $g.m^{-2}.año^{-1}$ (2014), 681.4 $g.m^{-2}.año^{-1}$ (2015) y 562.9 $g.m^{-2}.11\ meses^{-1}$ (2016. **Figs. 31, 32,33**), para el bosque que bordea la línea de costa. Esto atribuido al estrés que recibe el humedal por las actividades ganaderas, asentamientos humanos, deforestación y aportes de agua residual, fragmentación del humedal (cambiando el patrón hídrico) y por la dominancia en el flujo de agua laminar; favoreciendo el incremento en la salinidad, temperatura del agua y condiciones hipóxicas a completamente anóxicas en el agua intersticial. A pesar de lo antes expuesto, el humedal de la parte interna del perfil de Sabancuy presentó mayor producción de hojarasca (1,241.06, 854.36, y 952.87 $g.m^{-2}.año^{-1}$ para los años 2014, 2015 y 2016, respectivamente). Esto al recibir vía manto freático agua dulce por influencia del agua subterránea que viene de **Xibujá** (1,080.1, 1,239.5 y 896.1 $g.\ m^{-2}.\ año^{-1}$para el 2014, 2015 y 2016, para el bosque que bordea la línea de costa. **Figs.34 y 35**). Así mismo, el humedal de Xibujá registró la mayor producción de hojarasca en el bosque interno (en su mayoría de *A. germinans*); asimismo, como respuesta del aporte de agua dulce vía subterranea, 1,363.3 $g.m^{-2}.año^{-1}$ para el 2014, 1,126.6 en el 2015, y 886.80 $g.m^{-2}.año^{-1}$ para el 2016 **(Figs.34 y 35**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

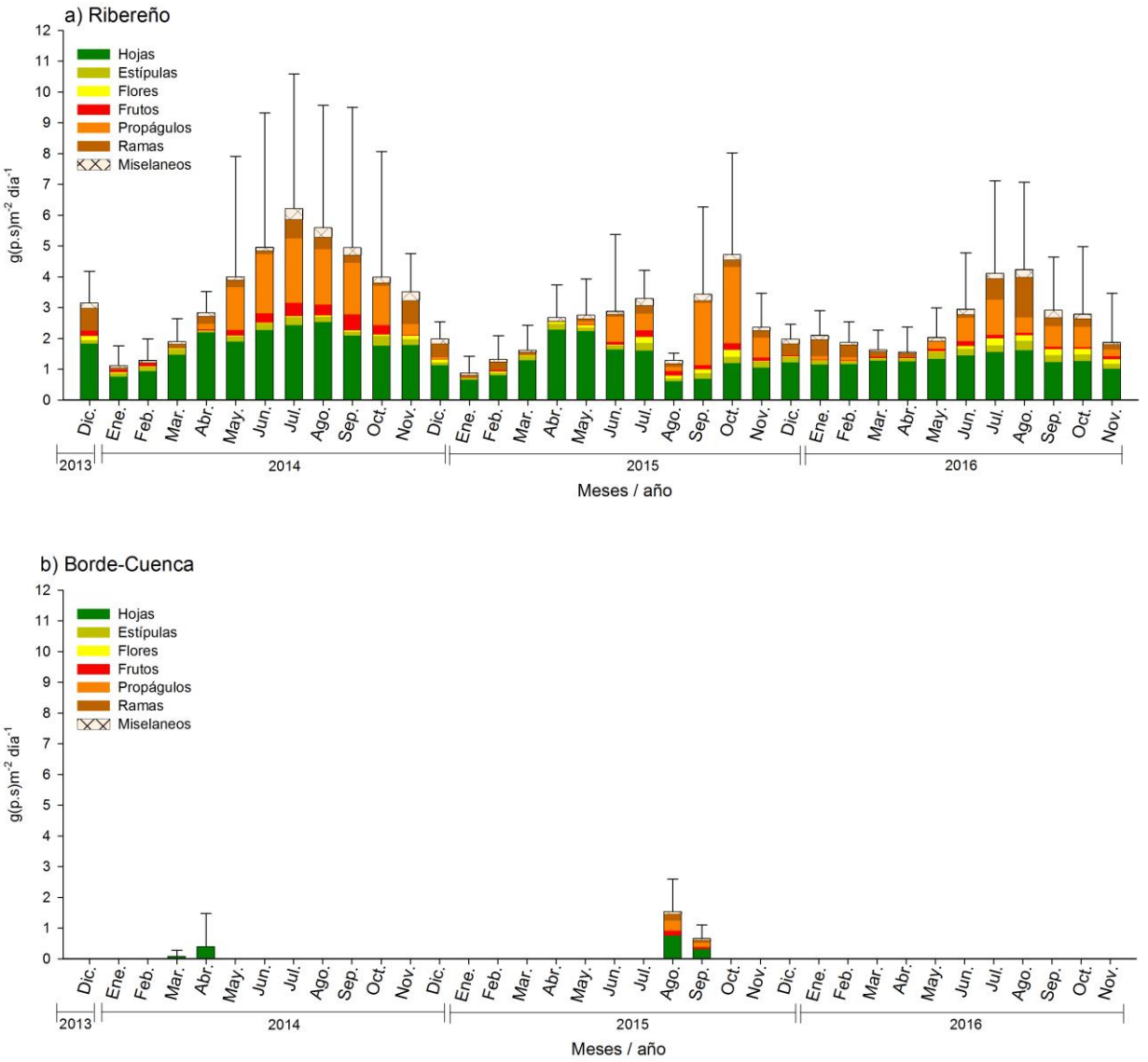

Figura 31. Producción de hojarasca por árboles de *Rhizophora mangle* a través de un perfil de vegetación ubicado en Sabancuy, en la laguna de Terminos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

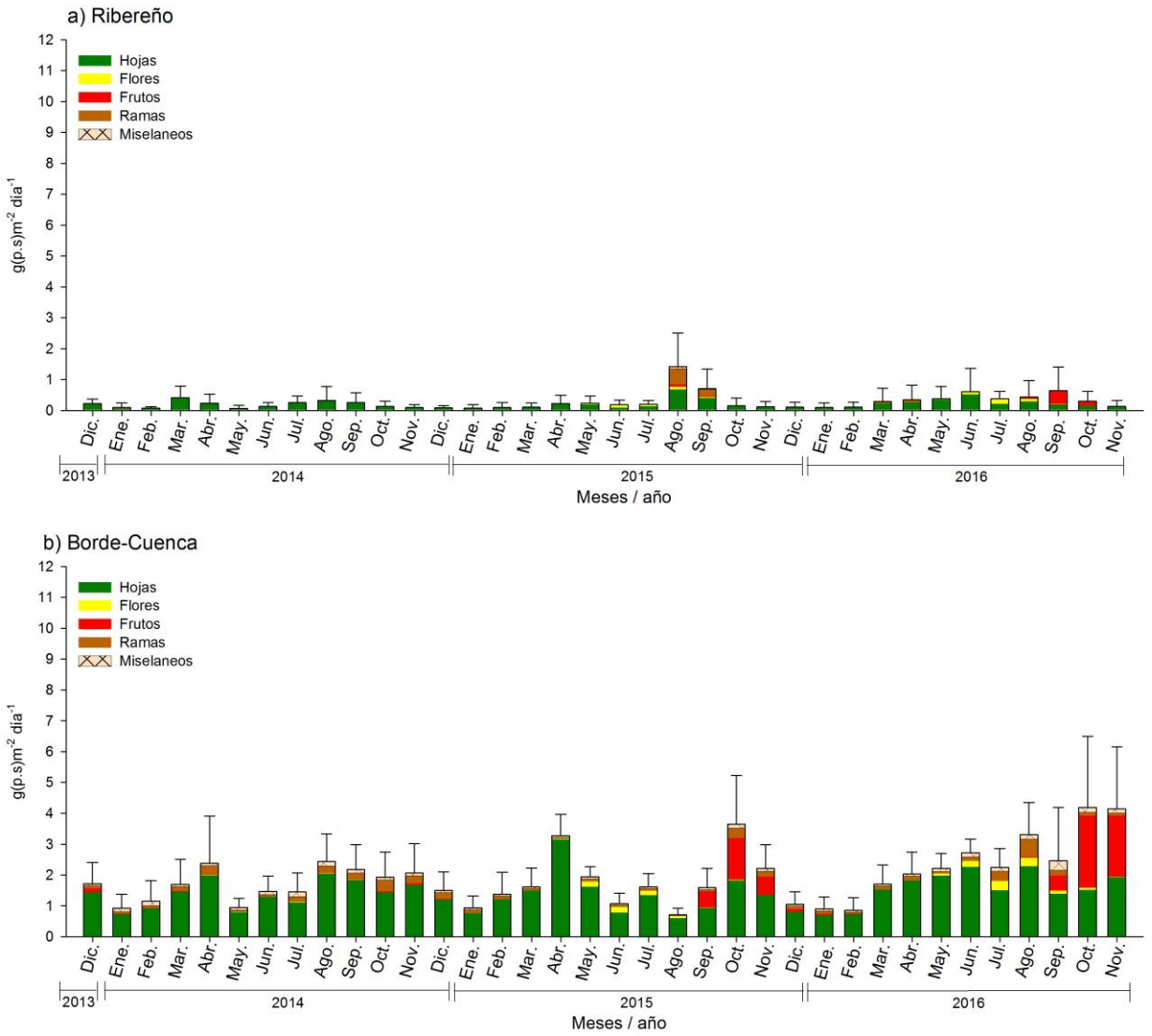

Figura 32. Producción de hojarasca por árboles de *A. germinans* a través de un perfil de vegetación ubicado en Sabancuy en la laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

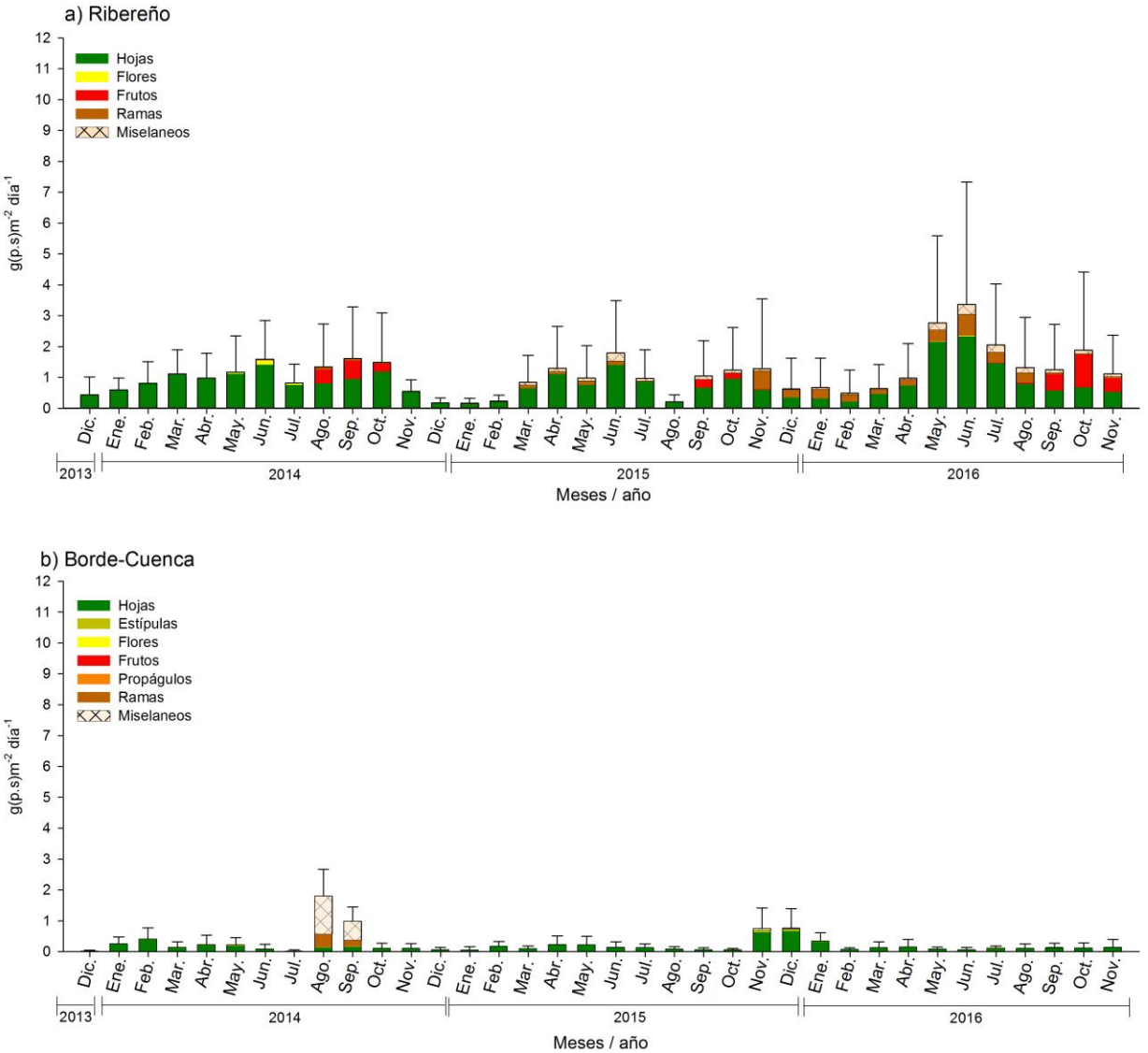

Figura 33. Producción de hojarasca por árboles de *L. racemosa* a través de un perfil de vegetación ubicado en Sabancuy en laguna de Términos, Campeche. b) Bosque interno.

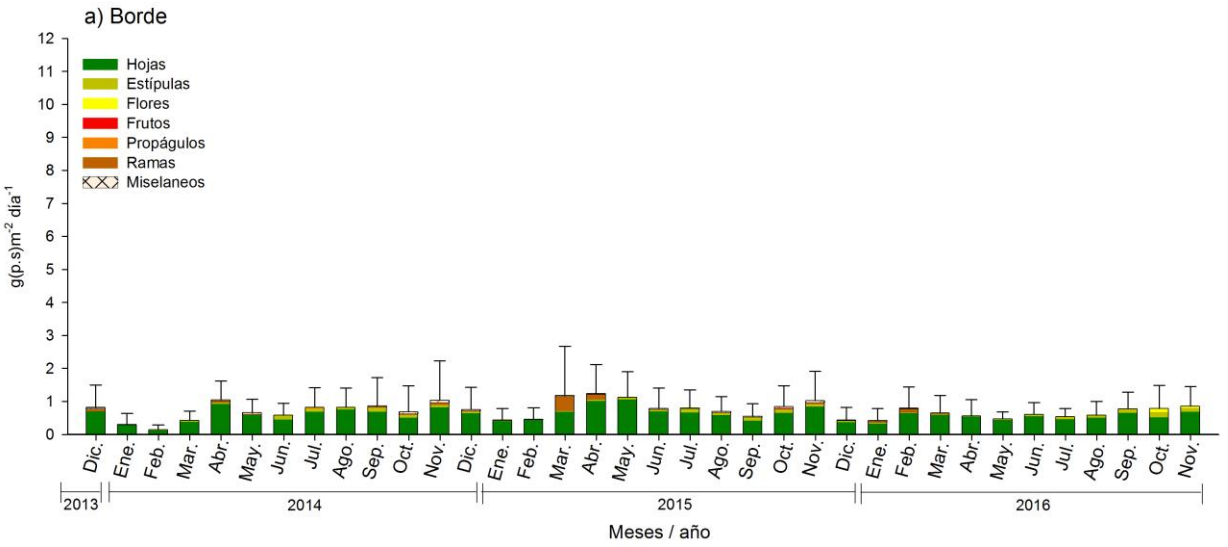

Figura 34. Producción de hojarasca por árboles de *R. mangle* a través de un perfil de vegetación ubicado en Xibujá en a laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

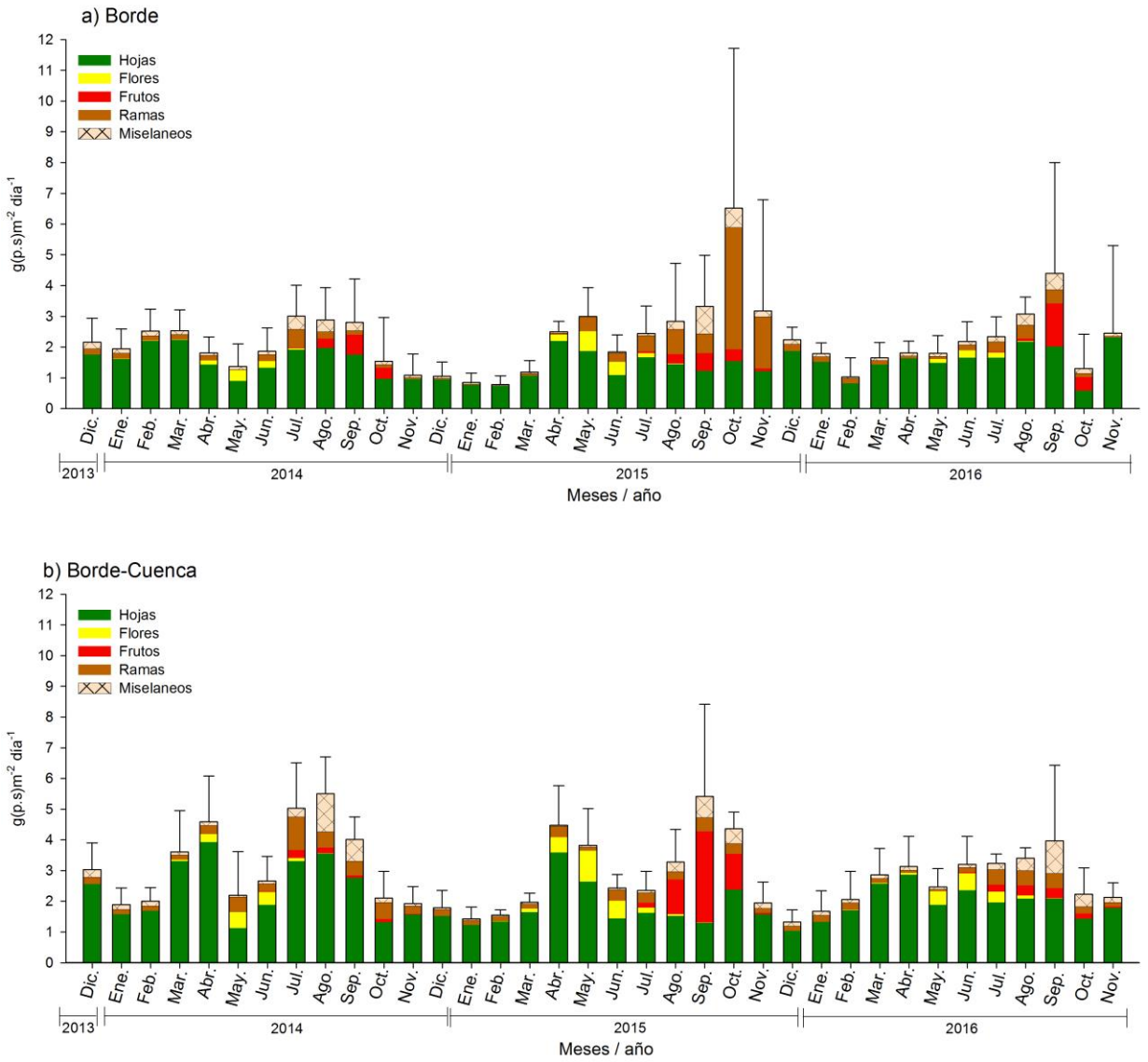

Figura 35. Producción de hojarasca por árboles de *A. germinans* en un perfil de vegetación ubicados en Xibujá en la laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Estero Pargo y Atasta: se observa el mayor aporte de hojarasca en los bosques ubicados en Estero Pargo y Atasta del APFyFLT, con respecto al resto de los sitios y años en estudio, con 2,523.3 y 1,498.8 g. m^{-2}. $año^{-1}$ en el 2014; 2,016.7 y 1,164.3 g. m^{-2}. $año^{-1}$ para el 2015; 2,143 y 1,479.9 g.m^{-2}. $año^{-1}$ para el 2016 respectivamente (**Figs.36, 37 y 38**). De manera general, estas producciones son atribuidas, a las condiciones oligohalinas y concentración de nutrientes (alóctonos provenientes de los cultivos y asentamientos urbanos) y autóctonos (por lixiviación de las rocas durante la época de lluvias), que favorecen la producción de hojarasca, además del tipo fisonómico borde con tendencia a ribereño ó ribereño registrados para los dos sitios en estudio. En específico, el perfil de vegetación de **Estero Pargo**, el mayor aporte se atribuye a la especie de *A. germinans* en el bosque interno derivado del incremento topográfico, salinidad y aporte de nutrientes de origen antropogenicos, con 665, 638.8 y 847.02 g.m^{-2}.$año^{-1}$ para los años 2014, 2015, 2016 respectivamente (**Figs. 29, 30 y 31**). Similar comportamiento se define en **Atasta,** en donde *R. mangle* registra el mayor aporte, 1,188.4, 1,000.3 y 1,237.4 g.m^{-2}.$año^{-1}$ para los años 2014, 2015 y 2016 correspondientemente (**Figs.39, 40, 41**). Es importante señalar los meses de mayor producción para ambos sitios en estudios, corresponden a la época de lluvias.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

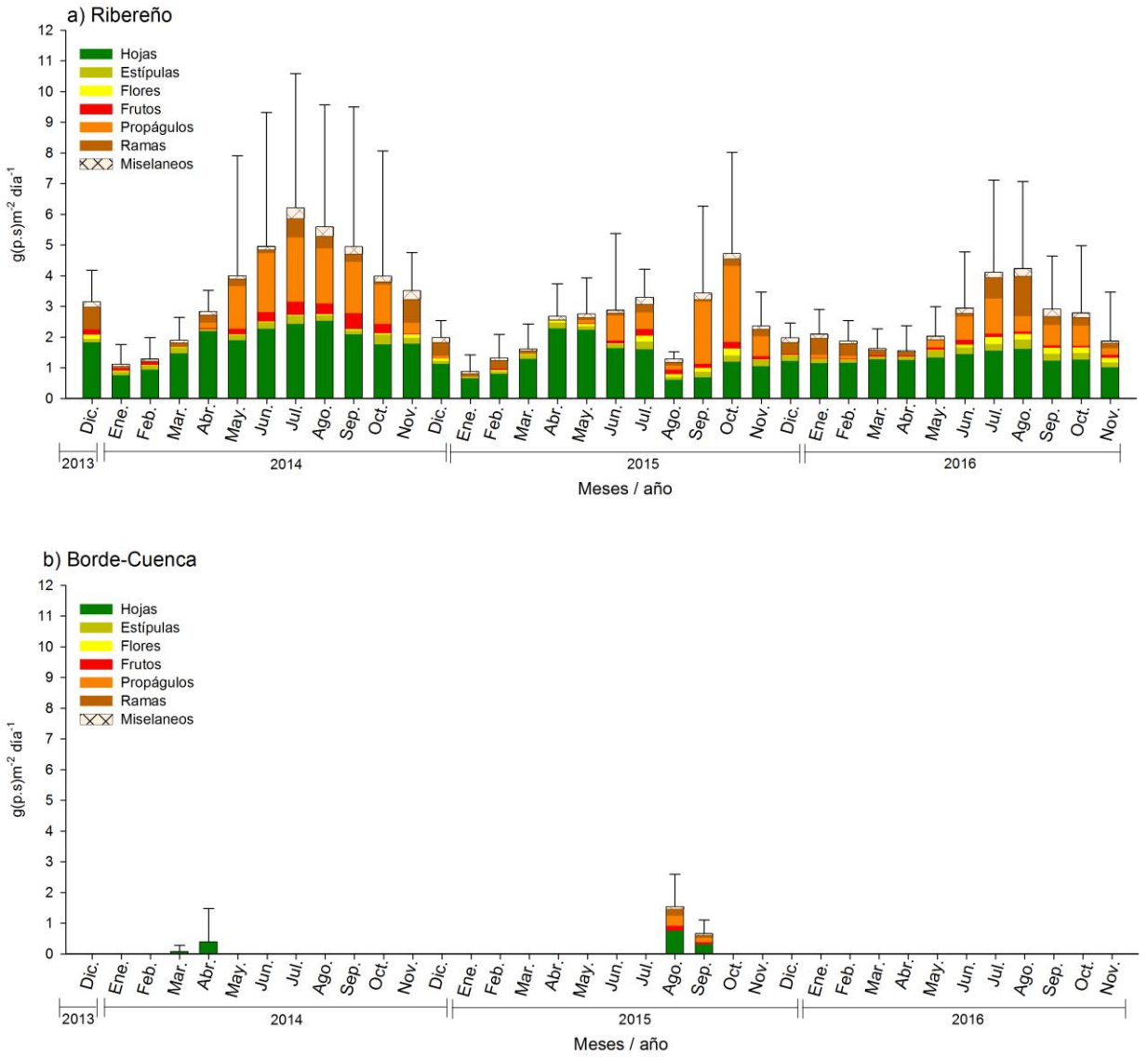

Figura 36. Producción de hojarasca por árboles de *R. mangle* en un perfil de vegetación ubicado en Estero Pargo en laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

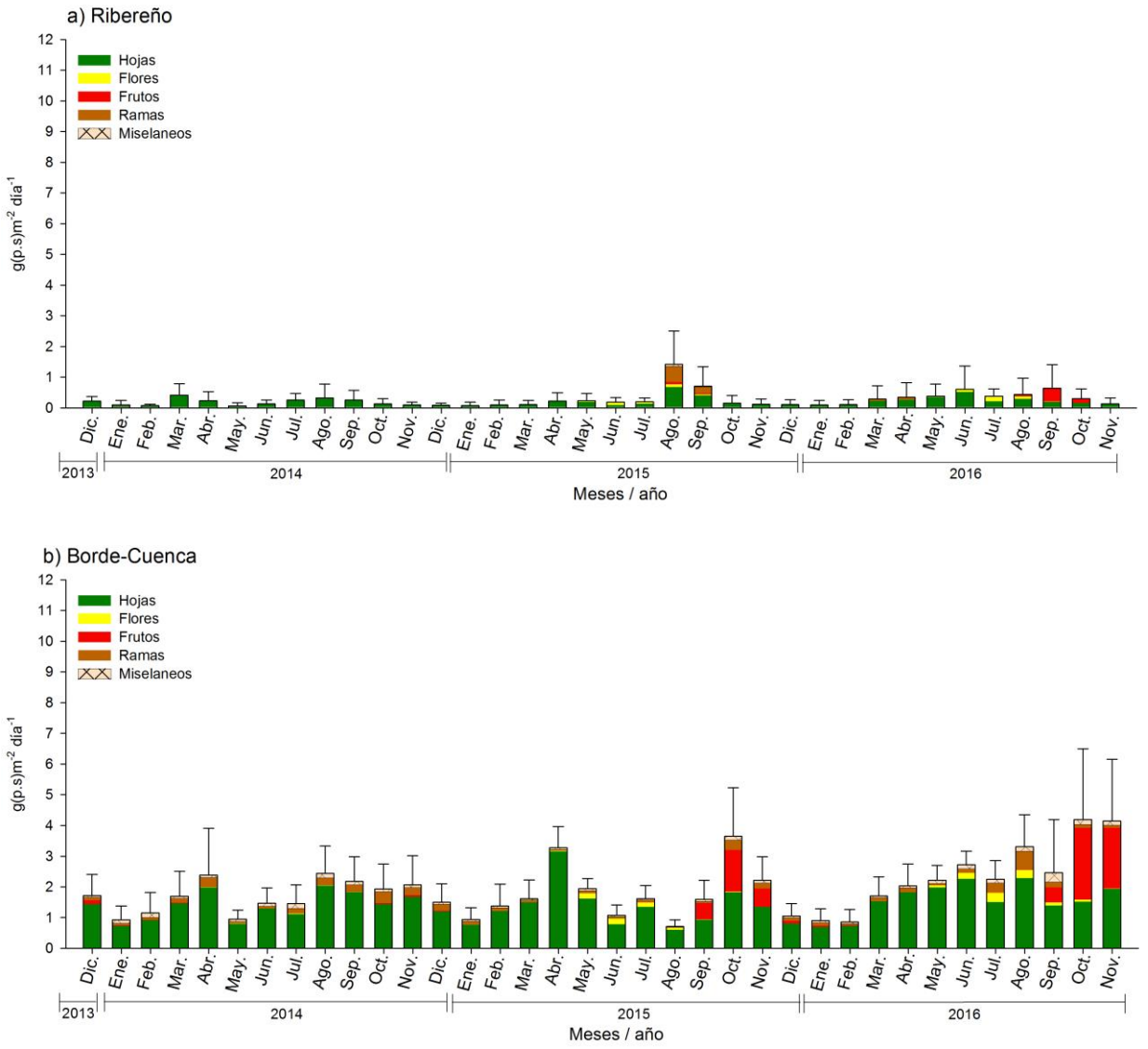

Figura 37. Producción de hojarasca por árboles de *A. germinans* en un perfil de vegetación ubicado en Estero Pargo en laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

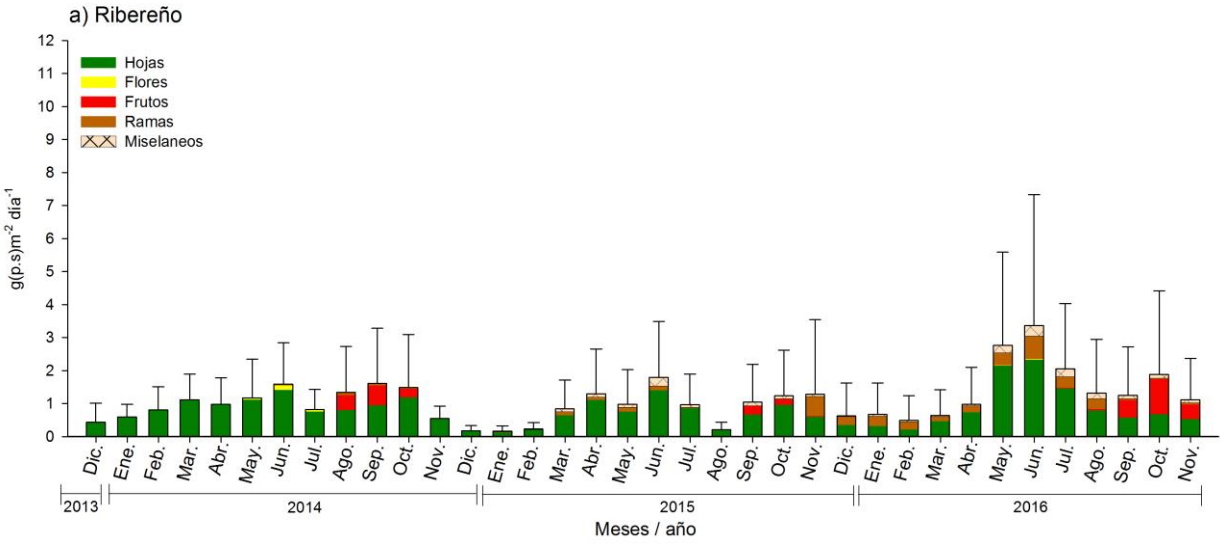

Figura 38. Producción de hojarasca en árboles de *L. racemosa* en un perfil de vegetación ubicado en Estero Pargo en la laguna de Términos, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

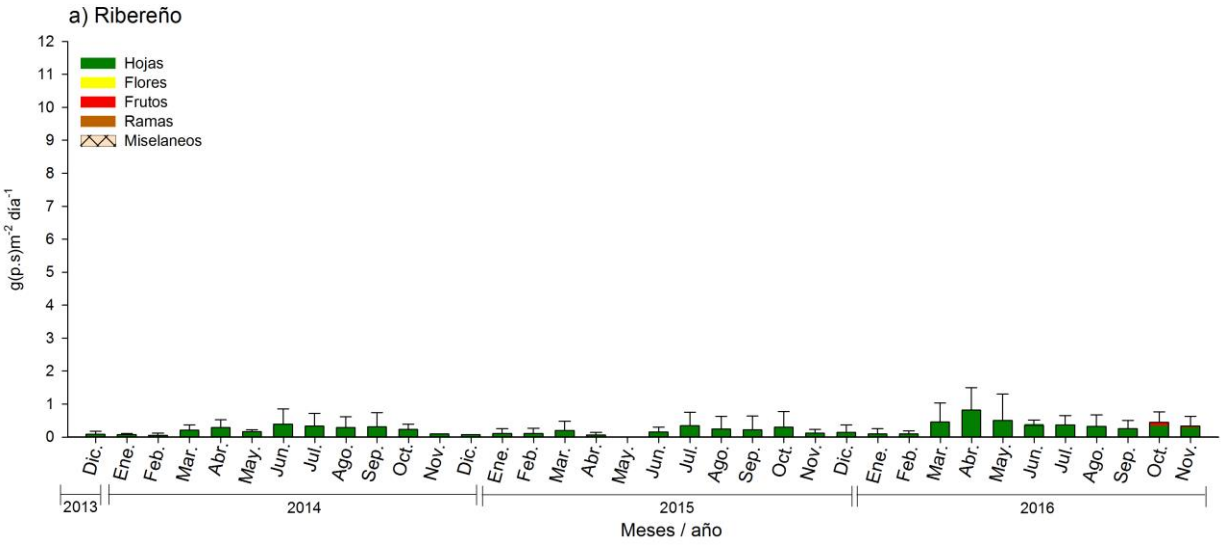

Figura 39. Producción de hojarasca en un bosque de mangle mixto que bordea la línea de costa en la localidad Atasta, laguna de Términos, Campeche, *L.racemosa*.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

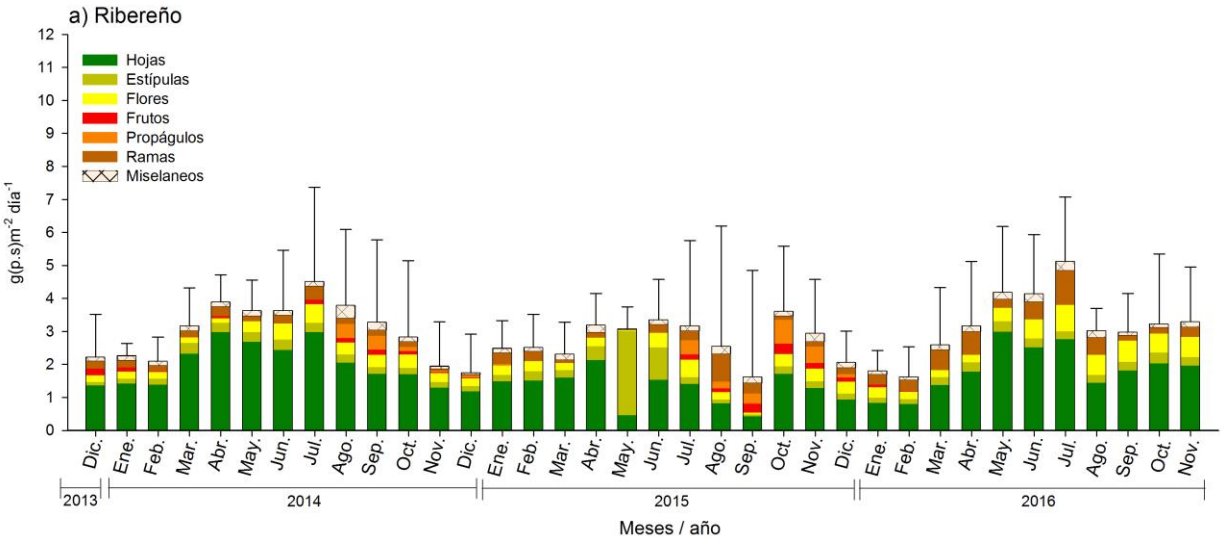

Figura 40. Producción de hojarasca en un bosque de mangle mixto con dominancia de *R. mangle* que bordea la línea de costa en la localidad Atasta, laguna de Términos, Campeche.

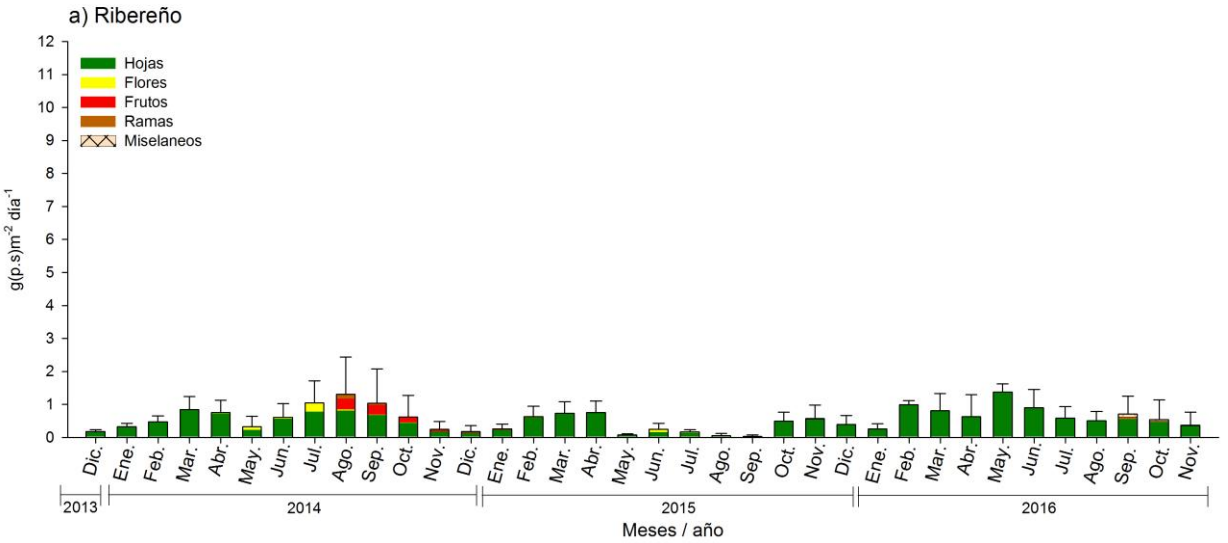

Figura 41. Producción de hojarasca en un bosque de mangle mixto que bordea la línea de costa en la localidad Atasta, laguna de Términos, Campeche, *A. germinans.*

Champotón: La caída de hojarasca registrada en Champotón, se atribuye a las condiciones ribereñas de la localidad. De esta manera, obtienen producciones que van de 1,521.1, 1,343 y 1226.7 g. m^{-2}. $año^{-1}$ en el 2014, 2015 y 2016 respectivamente, en el bosque que bordea al Río Champotón a 1,236.5, 1,311.3 y 1,158.1 g. m^{-2}. $año^{-1}$ para el año 2014, 2015 y 2016 correspondientemente, en la parte interna del perfil de vegetación (**Fig. 42**). Todo lo anterior,

por las condiciones oligohalinas con tendencia a mesohalinas, y aporte de nutrientes durante la época de lluvias (incremento en aporte de *Laguncularia racemosa*).

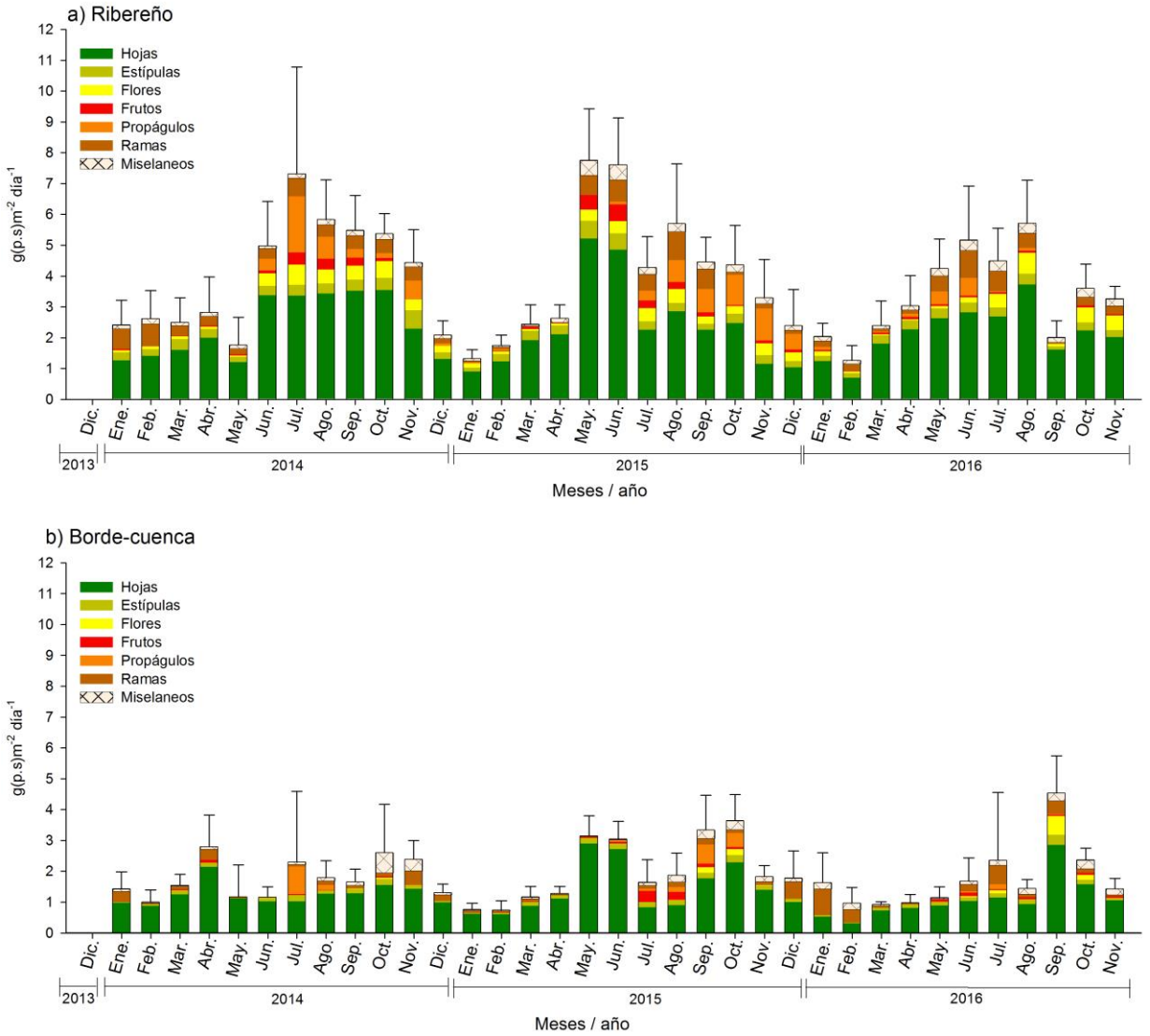

Figura 42. Aporte anual de hojarasca de *R. mangle* en los dos tipos de bosque que conforman el perfil de vegetación del sitio Champotón: a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

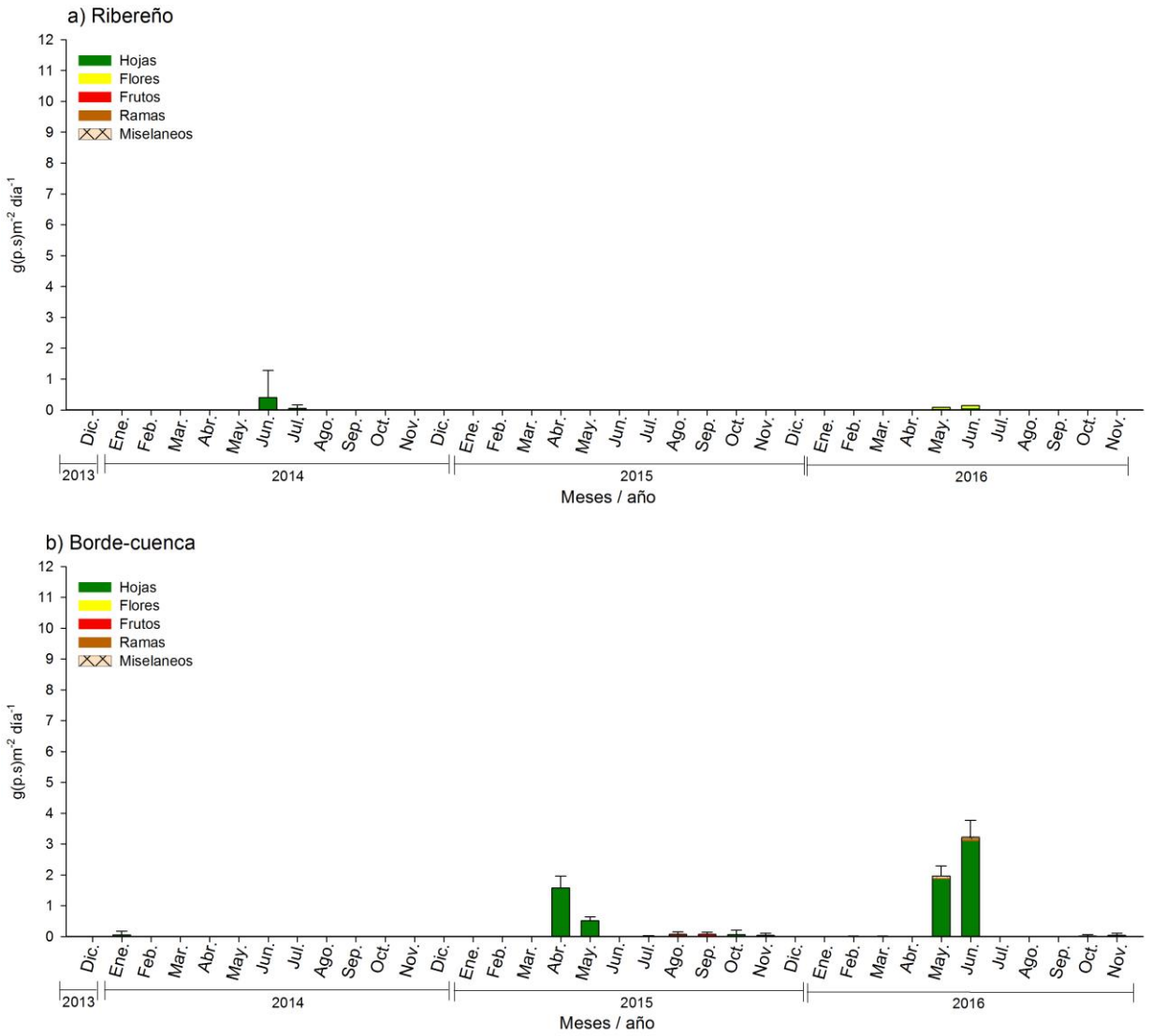

Figura 43. Producción de hojarasca por árboles de *A. germinans* en un perfil de vegetación ubicado en Champotón, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

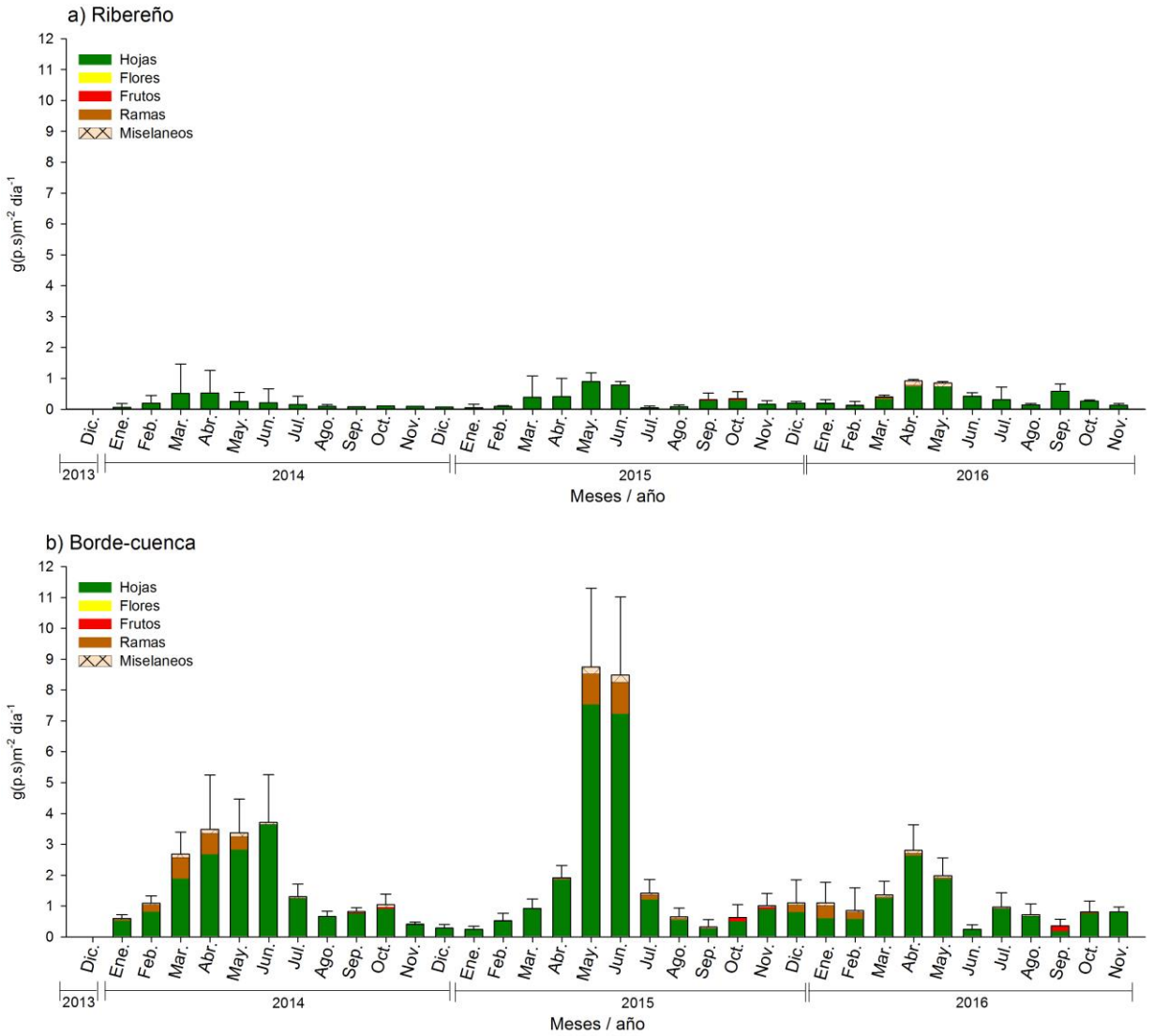

Figura 44. Aporte de hojarasca en árboles de *L. racemosa* ubicados en un perfil de vegetación ubicado en Champotón, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Así mismo, la caída de hojarasca en las localidades de la RBLP se comportó de la siguiente manera:

Petén Neyac: Los bosques de mangle que conforman el perfil de vegetación, exhiben una producción de hojarasca homogénea a lo largo de este (En el bosque borde de 1,132.9, 859.3 y 735.87 g. m^{-2}. 6 $año^{-1}$ para el 2014, 2015 y 2016 respectivamente. En el bosque interno establece una disminución a través de los años, con 1,244.1, 836.8 y 759.81 g. m^{-2}. $año^{-1}$ para

el 2014, 2015 y 2016 respectivamente (**Fig.45**). Esto derivado de las anomalías en el clima que se han venido registrando. La máxima producción se establecio durante los tres ciclo anuales en estudio desde junio hasta noviembre (lluvias y nortes).

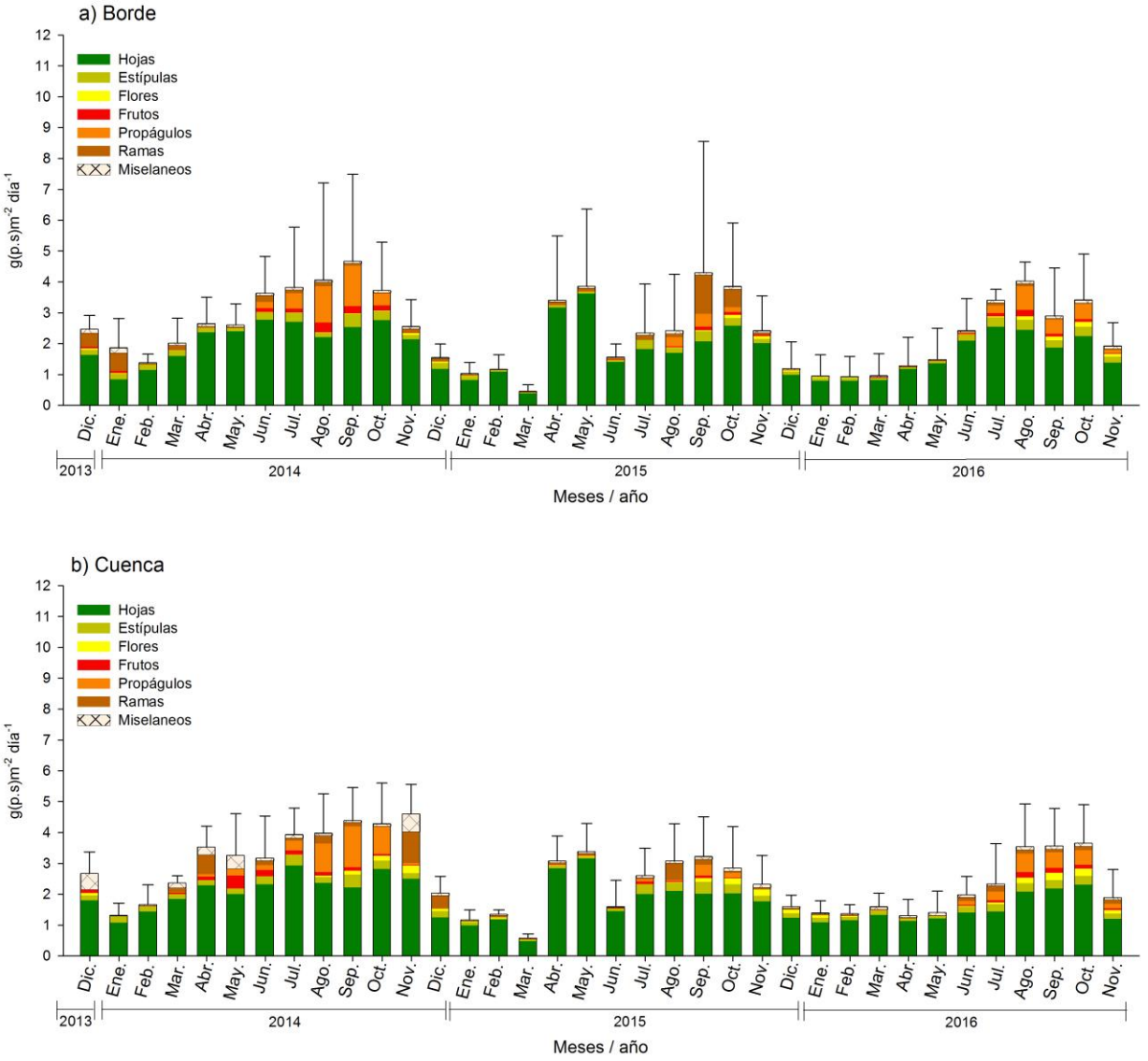

Figura 45. Producción de hojarasca por árboles de *R. mangle* en un perfil de vegetación ubicados en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

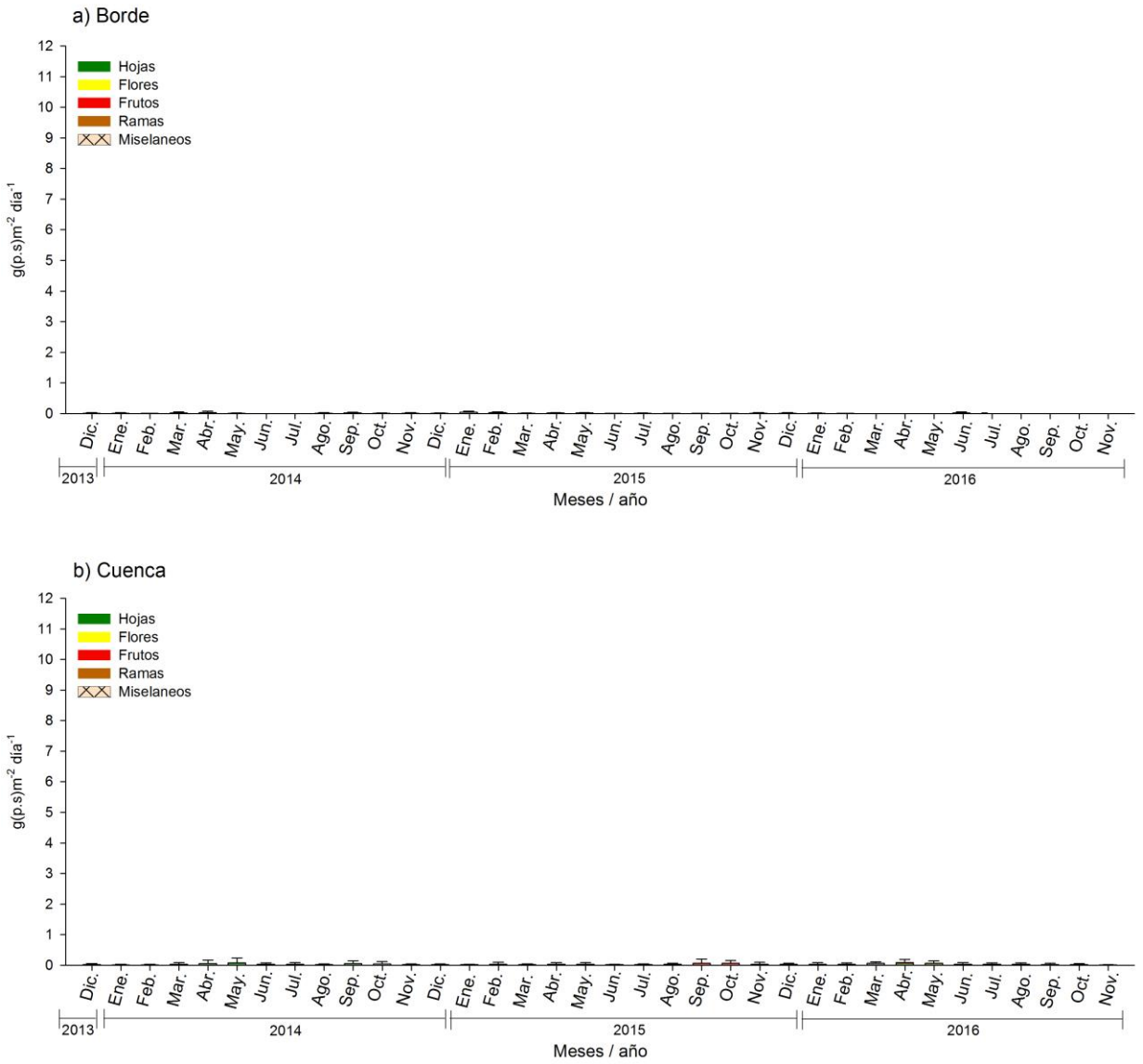

Figura 46. Aporte de hojarasca por árboles de *A. germinans* en un perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

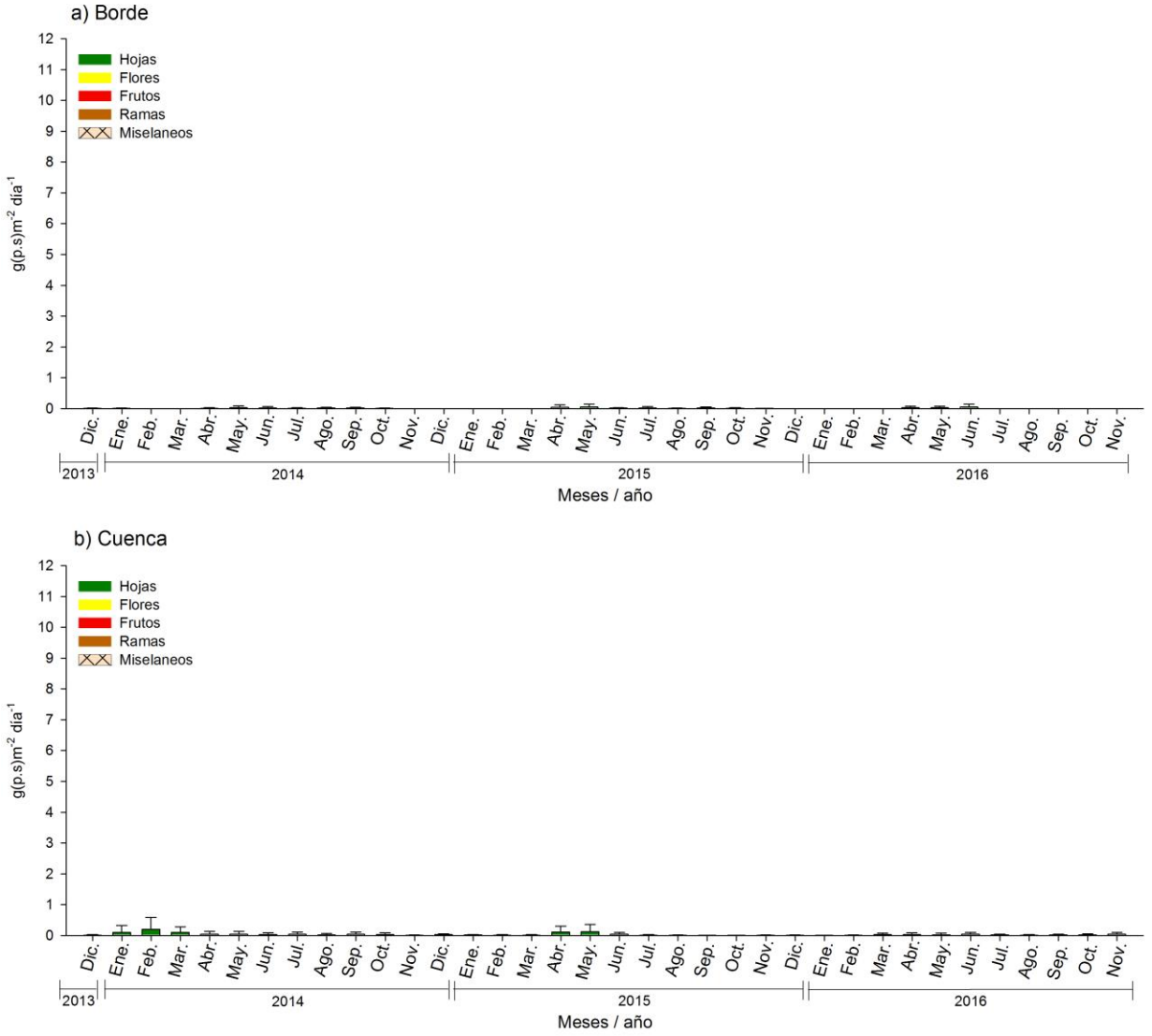

Figura 47. Producción de hojarasca por árboles de *L. racemosa* en un perfil de vegetación ubicado en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Río Verde: la producción de hojarasca disminuye a lo largo del perfil de vegetación, partiendo desde la orilla hacia el interior del bosque, con 1,471.6, 1,090.2 y 1,127.1 g. m^{-2}. $año^{-1}$ en el borde durante el 2014, 2015 y 2016 (**Figs. 48**); y 529.6, 588.5 y 511.1 g. m^{-2}. $año^{-1}$ en el interior del bosque durante el 2014, 2015 y 2016, respectivamente. Esto debido al incremento de la inundación, salinidad y reducción del potencial redox (hipóxicas con tendencia a anóxicas). La mayor caída de hojarasca fue aportada por *R. mangle*, y

posteriormente *L. racemosa* y *A. germinans* en el bosque que bordea a la línea de costa (**Figs. 41, 42 y 43)**. Caso contrario al bosque interno, donde el mayor aporte se detecto en *A. germinans*, pero con menor producción con respecto a la orilla (**Fig. 42**). Lo anterior es atribuido a las condiciones extremas de salinidad y bajos valores de potencial redox, causados por el patrón hidrológico e incremento de la microtopografía. Al respecto, Mitsh y Gosselink (2000) y Travieso-Bello *et al.* (2005) indican que un cambio mínimo en el patrón hidrológico puede generar cambios en la biota, esto en términos de composición y riqueza de las especies.

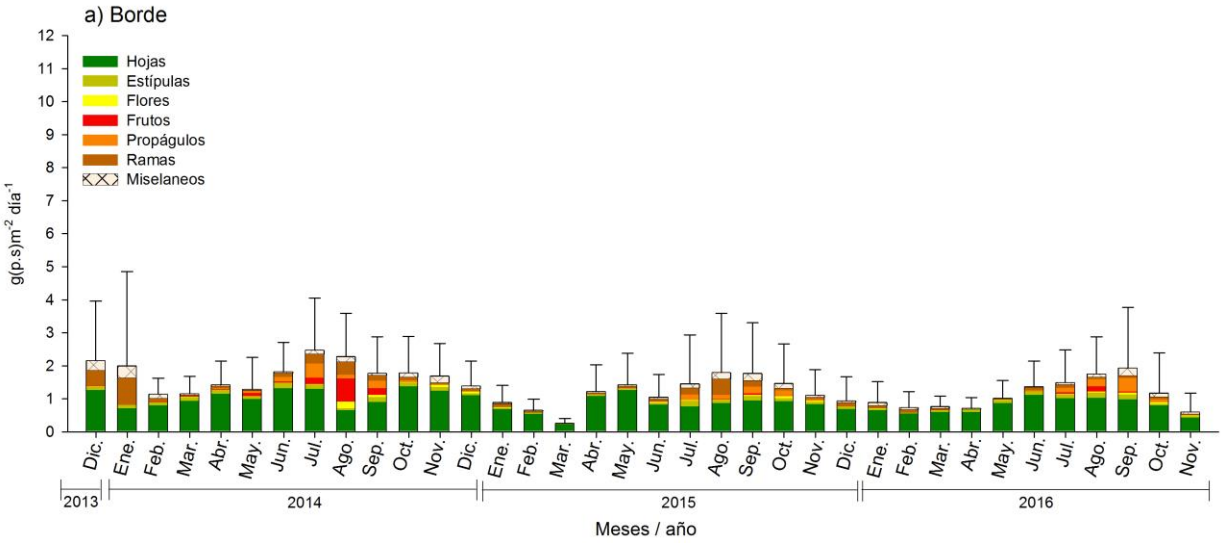

Figura 48. Producción de hojarasca por árboles de *R. mangle* en un perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

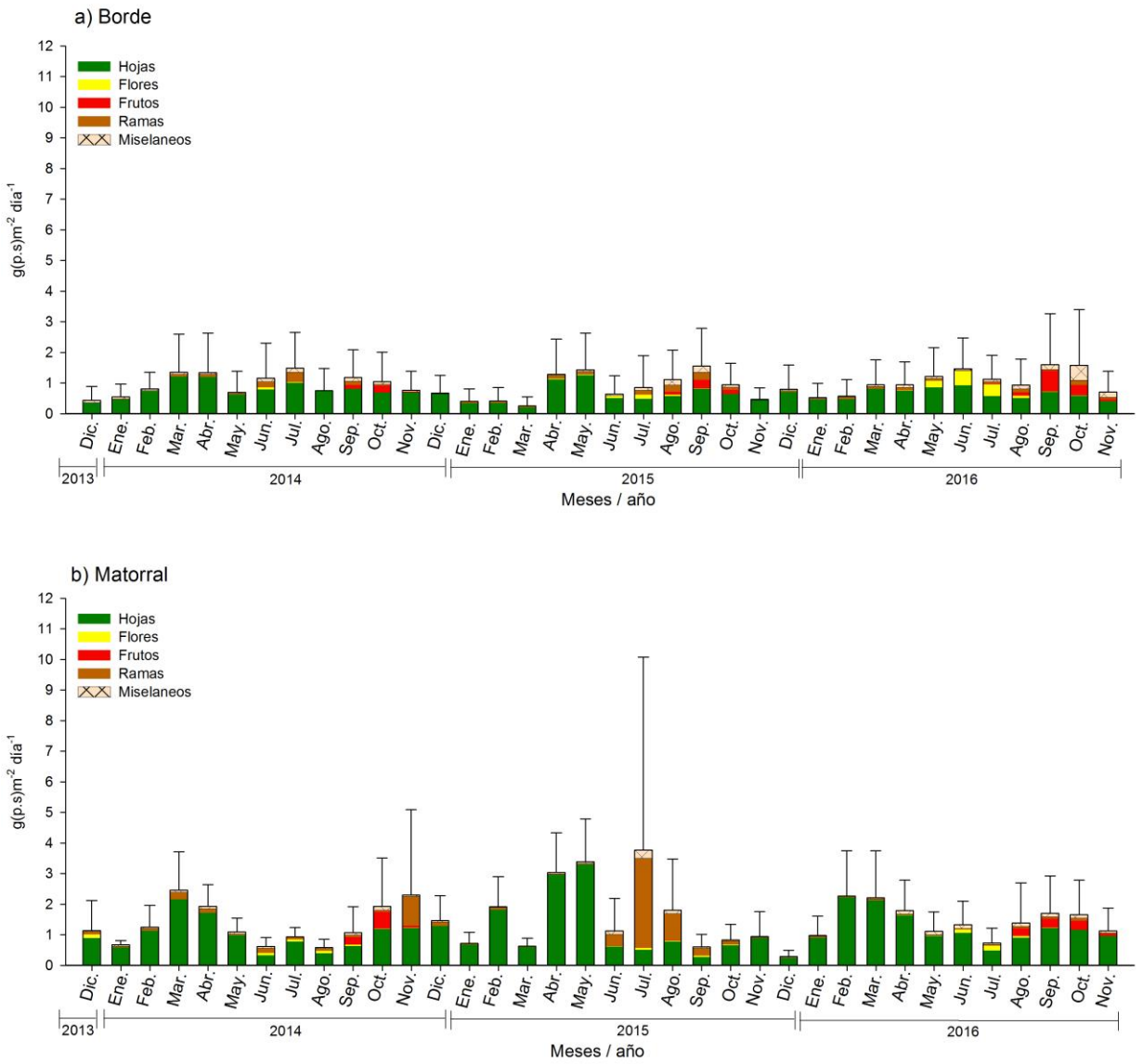

Figura 49. Producción de hojarasca por árboles de *A. germinans* en un perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa, b) bosque interno.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

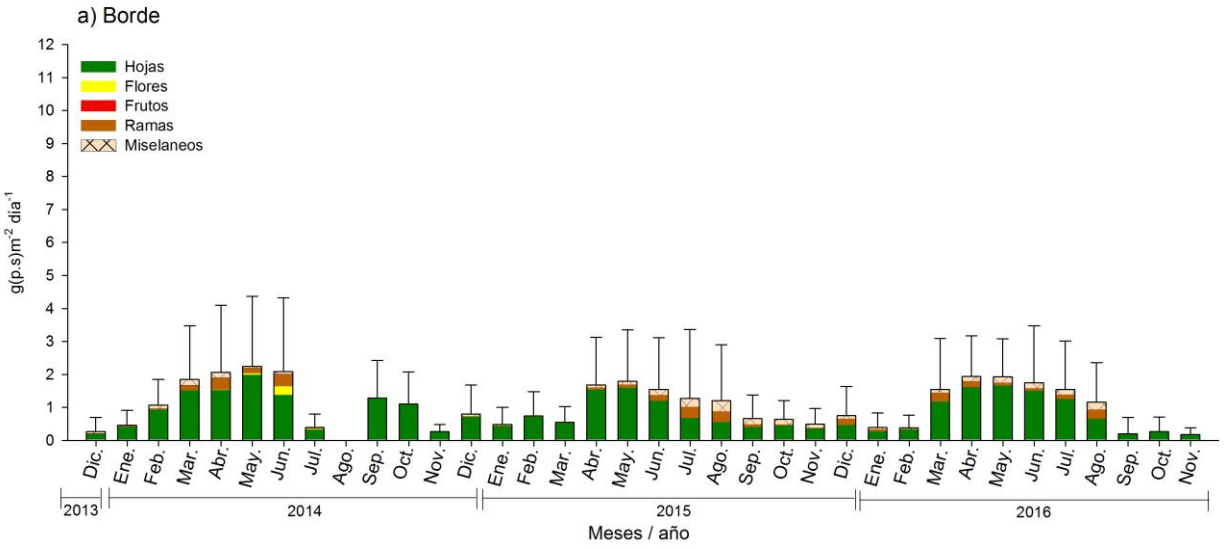

Figura 50. Producción de hojarasca por árboles de *L. racemosa* en un perfil de vegetación ubicado en Río Verde en la Reserva de la Biosfera los Petenes, Campeche. a) Bosque que bordea a la línea de costa.

5.2.2.2. Productividad en términos de biomasa radicular

Las raíces son estructuras que desempeñan importantes funciones como la asimilación de nutrientes y agua, además sirven de sostén a la planta. 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 (Gregory *et al.*, 1990). Con base en lo anterior, el presente informe reporta la productividad subterránea del tiempo inicial (T0), uno (T1) y tiempo dos (T2) a través de la distribución vertical en el perfil del suelo (50 cm de longitud), por categorías diametrales del sistema radicular, por localidad y sitio (**Figs., 51, 52, 53, 54, 55. Tablas 11 y 12**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

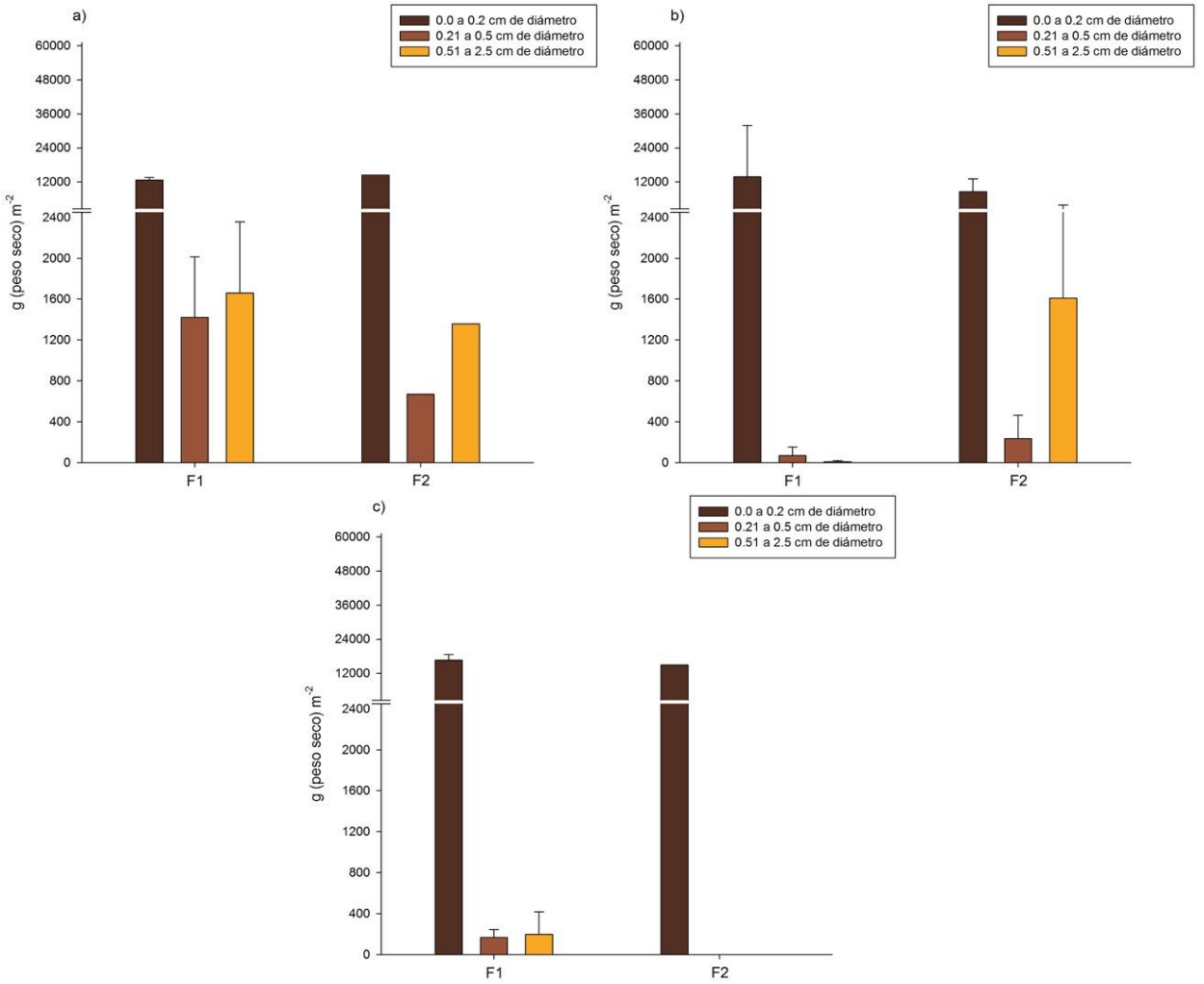

Figura 51. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Petén Neyac en la Reserva de la Biosfera Los Petenes. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero (Nov-2013), b) tiempo 1 (Nov.-2014), c) tiempo 2 (Nov.-2015).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

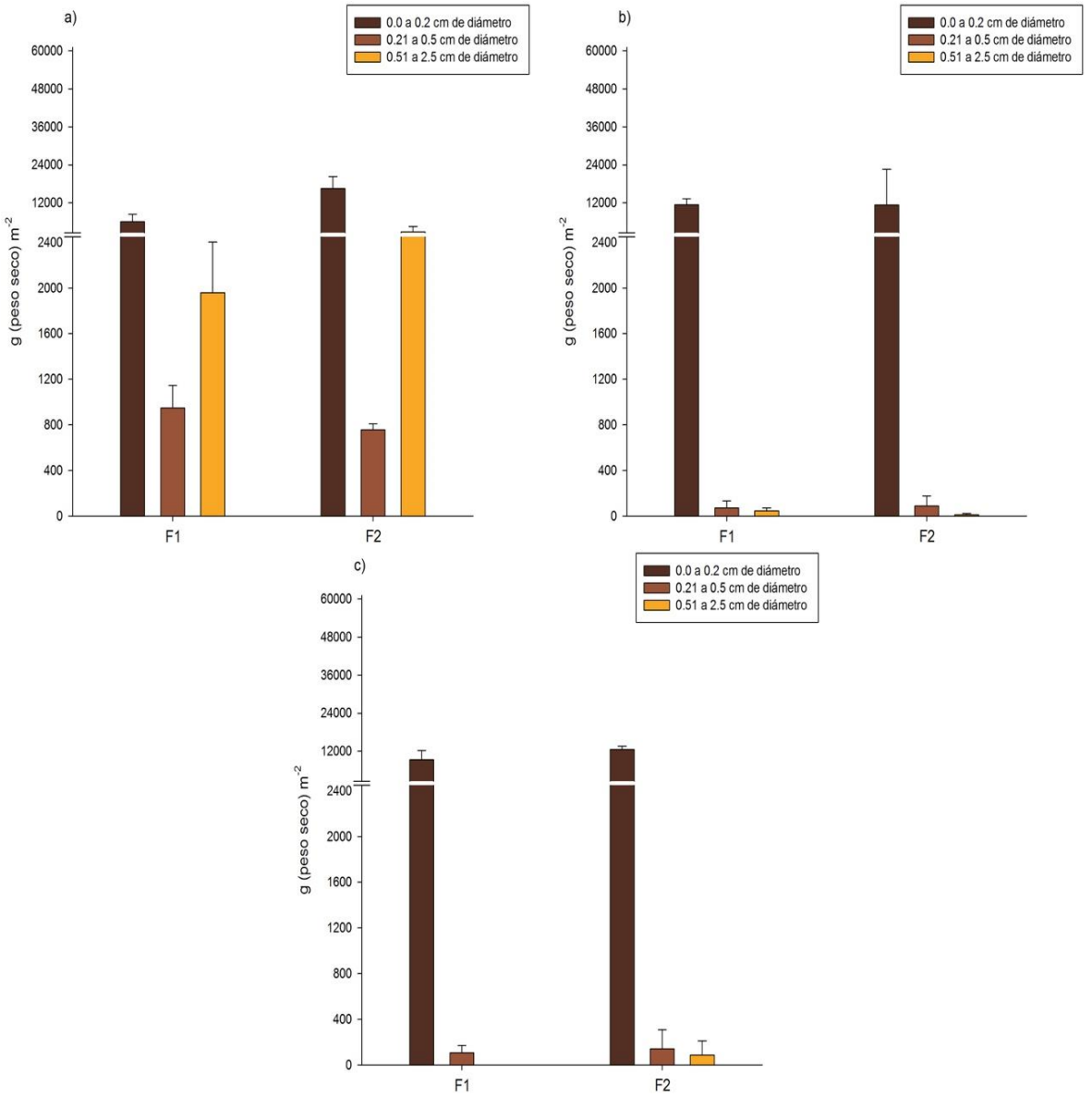

Figura 52. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en río Verde en la Reserva de la Biosfera Los Petenes. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero (Nov-2013), b) tiempo 1 (Nov.-2014), c) tiempo 2.

De manera general, se registraron direferencias significativas entre los sitios, en específico en los intervalos de 0 a 0.2 cm y de 0.21 a 0.5cm (**Figs.51,52,53,54, 55. Tablas 11 y 12**). De esta manera, se estimó que la mayor producción de biomasa radicular está compuesta por raíces con diámetros de 0 a 0.2 cm (raíces más finas) en todos los sitios en estudio (Figs. 44, 45, 46 y 47); registrando los máximos en Río Verde y Sabancuy, con 6,063.5 g (peso seco) m^{-2} en el bosque que bordea la linea de costa **Figs. 51,52,53,54, 55. Tablas 11 y 12**) y 47,418

g (peso seco) m^{-2} en el bosque interno, respectivamente. Es relevante destacar que en los primeros tipos fisonómicos de la localidad de Sabancuy, Peten Neyac y Río Verde se presentaron raíces con diámetros demasiados finos (pelos radicales). Éstos valores superan los reportados por Hernández (2006) en Cuba para comunidades de *Rhizophora mangle y Avicennia germinans* con valores de 3,130 y 2,449 g (peso seco) m^{-2} correspondiente a una profundidad de 0 a 25 cm. Éstas diferencias se atribuyen a la edad, historia del bosque ó a las diferencias estructurales ó incluso la especie (Lugo y Snedaker, 1974).

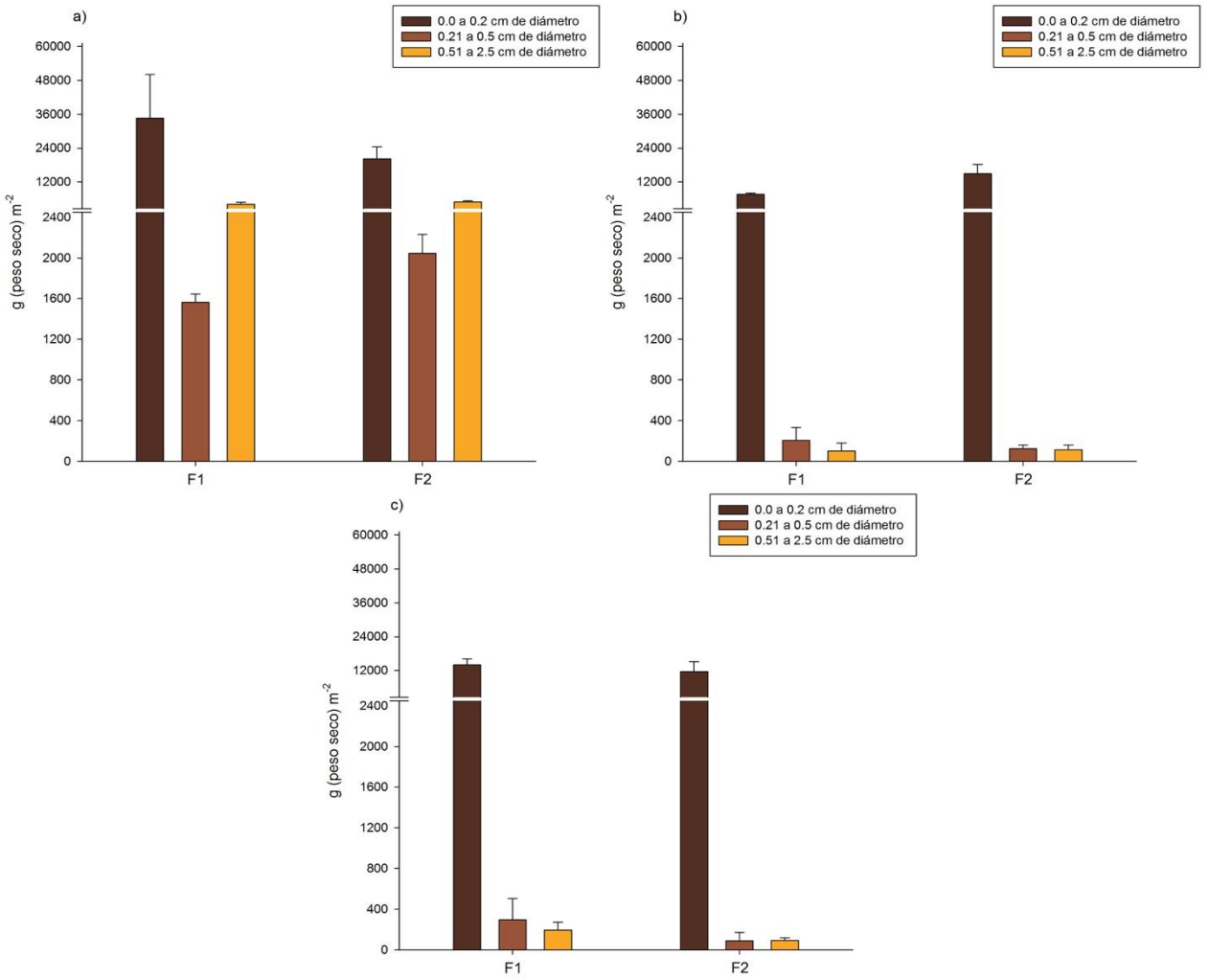

Figura 53. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Champotón. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero (Nov.-2013), b) Tiempo 1 (Nov.-2014), c) Tiempo 2 (Nov.-2015).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

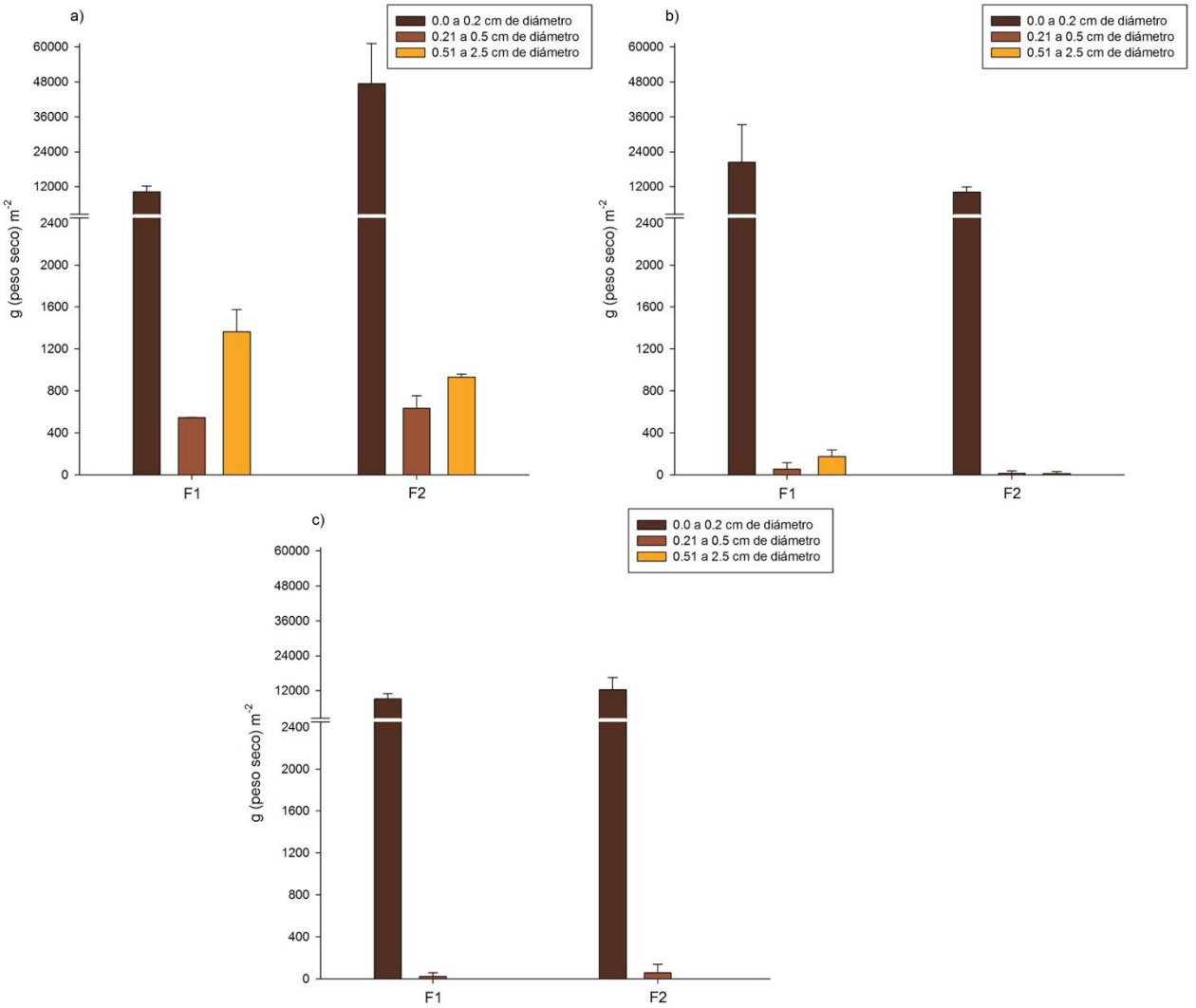

Figura 54. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Sabancuy, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero, b) Tiempo 1, c) Tiempo 2.

Por otra parte, la productividad de raíces en la categoría de 0.21 a 0.5 cm de diámetro (raíces más gruesas) mostraron variaciones desde 545.7 g (peso seco) m^{-2} en Sabancuy (Franja 1) hasta 2,044 gr m^{-2} en Xibujá (Franja 2. Fig. 48).

Con respecto a las raíces con diámetros de 0.51 a 2.5 cm, estas presentaron un intervalo de producción de 929.9 g (peso seco) m^{-2} en Sabancuy (Franja 2) a 4,900.9 g (peso seco) m^{-2} en la franja 2 de Champotón (Fig. 43). Los altos valores registrados en Champotón son respuesta

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

del sustrato rico en nutrientes. Autores como, Komivama *et al.* (1987) reportan similares resultados al encontrar en un bosque de *Rhizophora* gran cantidad de biomasa radicular, comparado con los bosques de menor desarrollo (especie registrada para Champotón). Por su parte, Hernández (2006) a su vez demostró diferencias de producción de raíces en bosques de *Rhizophora mangle y Avicennia germinans.*

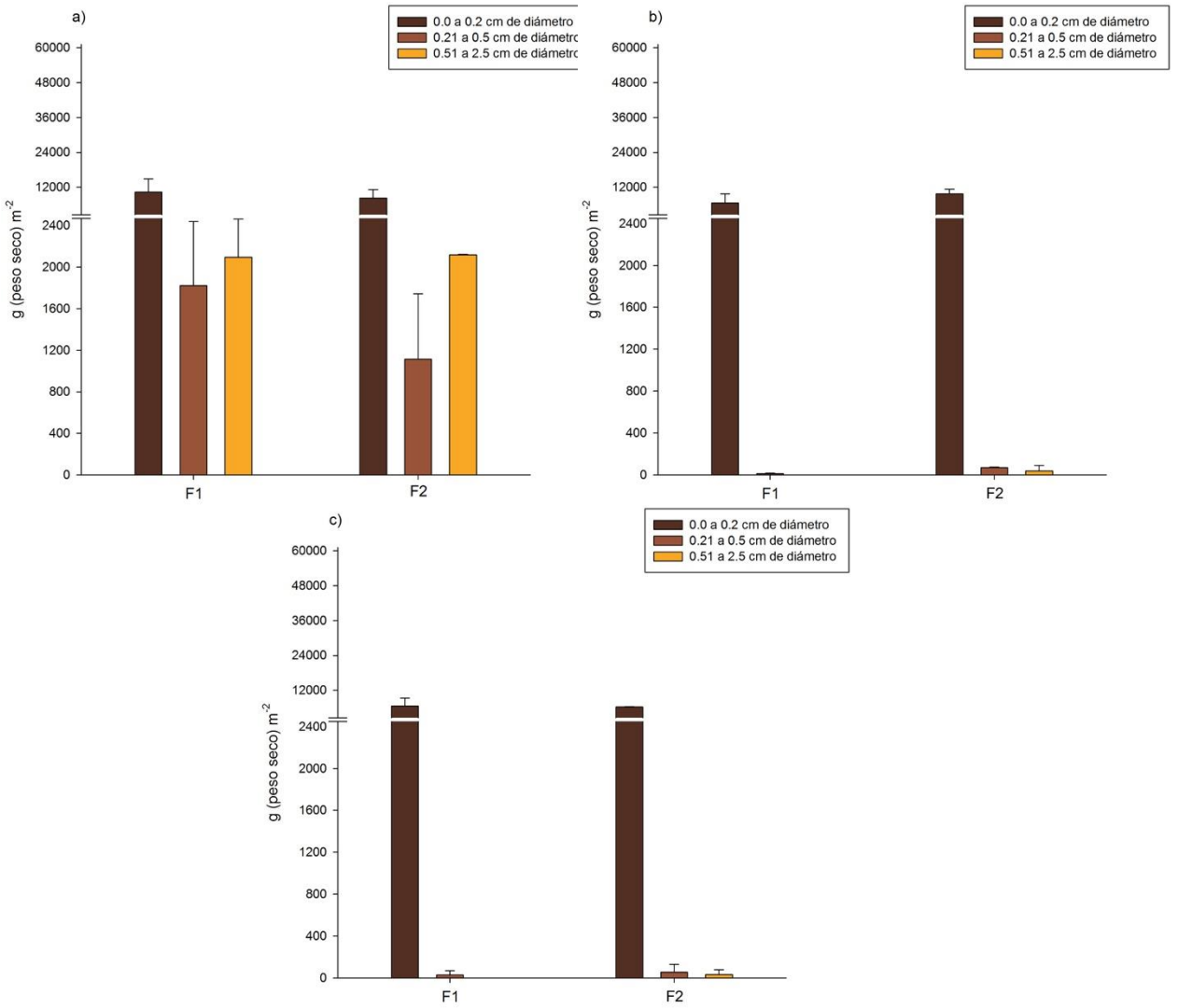

Figura 55. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Xibujá, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) tiempo cero (Nov.-2013), b) tiempo 1 (Nov.-2014), c) tiempo 2 (Nov.-2015).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

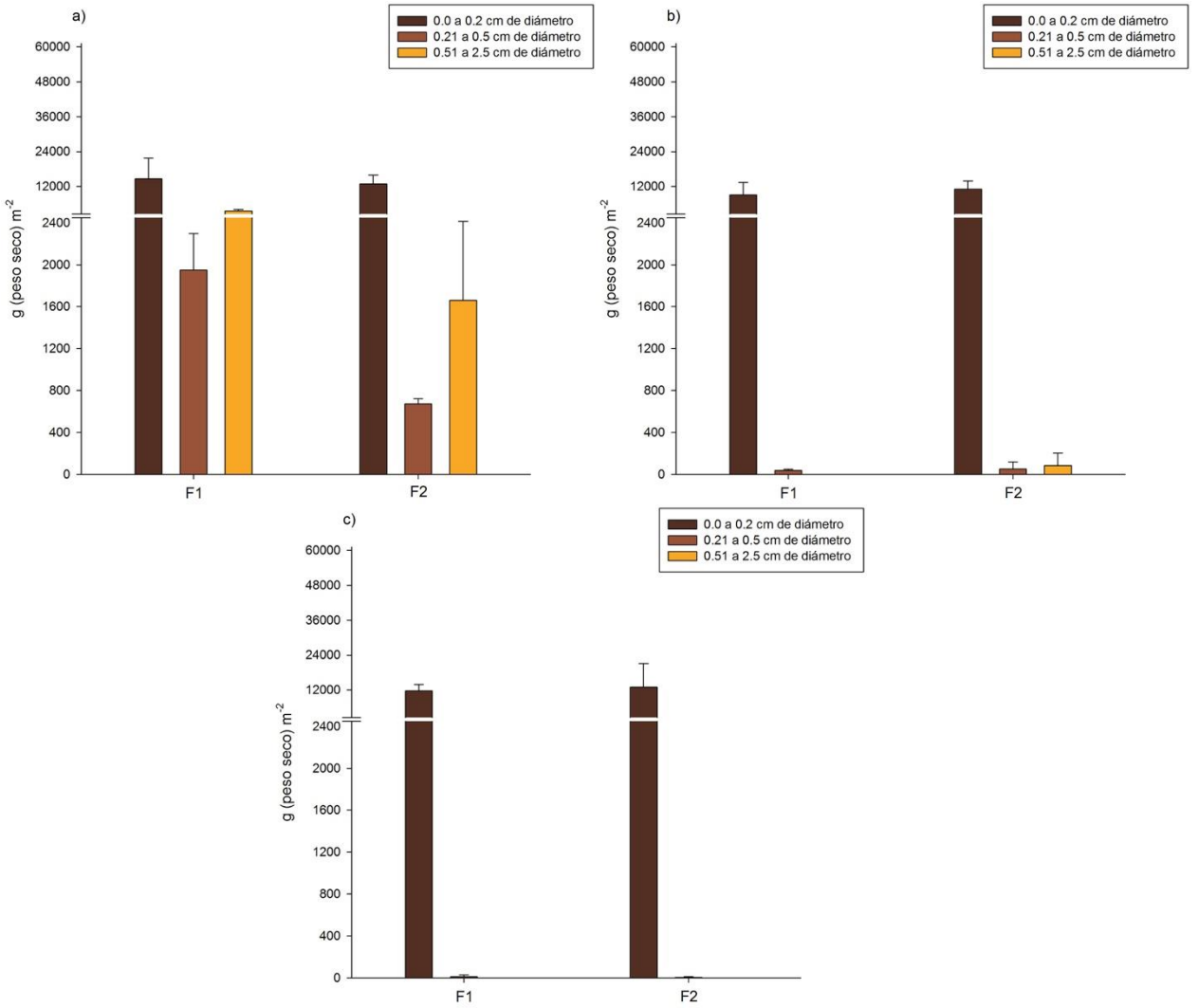

Figura 56. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Estero Pargo, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero, b) Tiempo 1, c) Tiempo 2.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

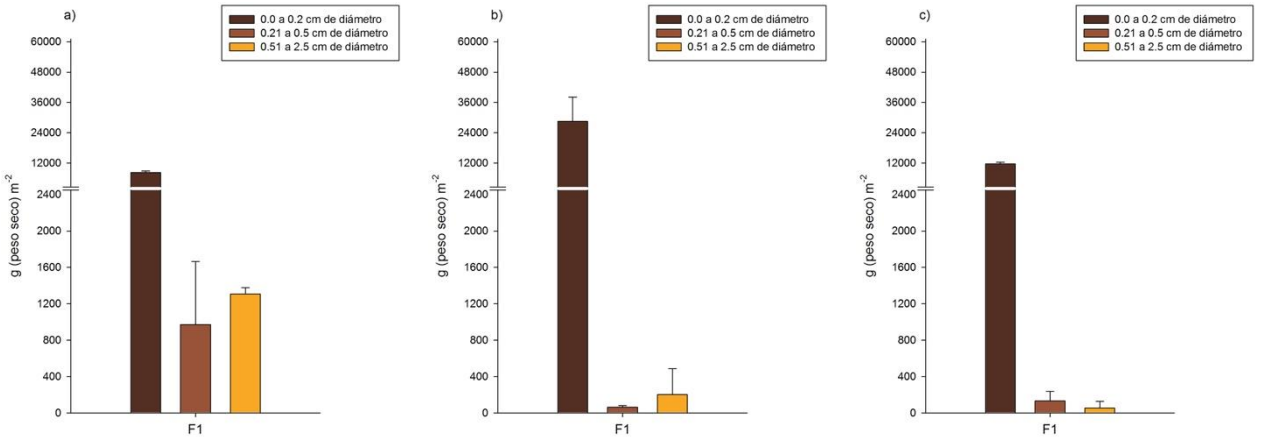

Figura 57. Producción de biomasa radicular a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle ubicados en Atasta, laguna de Términos. F1= Bosque que bordea a la línea de costa. F2=Bosque interno; a) Tiempo cero, b) Tiempo 1, c) Tiempo 2.

En general para el tiempo uno (T1=12 meses, año 2015) la mayor producción de biomasa radicular está determinada en diámetros de 0 a 0.2 cm (raíces más finas); desde 6,049.08 gr m^{-2} en Estero Pargo (franja 1) hasta 35,336.76 gr m^{-2} en Atasta (**Tablas 11 y 12**). Es relevante destacar que en los primeros tipos fisonómicos de la localidad de Sabancuy y Atasta se detectaron raíces con diámetros demasiados finos (pelos radicales). Asimismo, se puedo apreciar que en general los bosques que bordea la línea de costa, el caudal del río o laguna (según sea el caso) presenta la mayor biomasa de raíz en sus tres categorías, con respecto a los manglares internos.

Por otra parte, las menores producciones de raíces, se registraron en la categoría de 0.21 a 0.5 cm de diámetro (raíces más gruesas) con variaciones desde 8.64 gr m^{-2} en Xibujá (franja 1) hasta 294.87 gr m^{-2} en Champotón (**Tabla 11**). Constituyendo la menor biomasa, las raíces con diámetros de 0.51 a 2.5 cm; las cuales variaron desde 17.3 hasta gr m^{-2} en Xibuja y Estero Pargo hasta 403.44 gr m^{-2} en Atasta (**Tabla 12**). Los valores fueron similares a los reportados por Hernández (2006) en Cuba para comunidades de *Rhizophora mangle y Avicennia germinans* con 3,130 y 2,449 gr m^{-2} respectivamente a una profundidad de 0 a 218.4 gr m^{-2}. Con excepción de Estero Pargo y Xibuja donde no se presentó producción de raíces con diámetros de 0.21-0.5 cm, así como en Atasta con 403.4 gr m^{-2}. Komiyama et al. (1987) determinaron que la mayor biomasa de raíz puede deberse a las altas precipitaciones, al suelo fangoso rico en nutrientes y a la poca influencia humana; además demostraron que los manglares bien desarrollados de *Rhizophora* y *Bruguiera* poseían una gran cantidad de

biomasa radicular comparada con los bosques menos desarrollados. Así mismo, Hernández (2006) también demostró diferencias de producción de raíces en lotes de *Rhizophora mangle y Avicennia germinans.*

La producción de la biomasa de raíz con intervalos de 0 – 0.2 y de 0.21 – 0.5 cm, registrado a los 24 meses (T2: 2016) no mostro diferencias significativas entre los sitios, con respecto a la producción detectada a los 12 meses (T1:2015) en los tres tamaños de raices que fueron considerados para este estudio (**Tablas 11 y 12**). A pesar de lo anterior, se puede apreciar mayor producción de raíces finas en los bosques que bordean la linea de costa, laguna o cauce del río, para los humedales de Peten Neyac, Champotón, Estero Pargo y Atasta; detectandose 33,289; 27,970 y 23,360 (raíces más finas) $g.m^{-2}$ respectivamente. Así mismo, en el bosque interno en la localidad de Peten Neyac, se determino los máximos valores de produccción, con 63,265.8 $g.m^{-2}$. Las raíces con diámetros que van de 0.21 a 0.5 cm registraro las producciones máximas en la localidad Champotón registró los valores máximos de producción (592 $g.m^2$), y hacia el interior del bosque P. Neyac (336 $g.m^2$). Finalmente, en el rango de 0.51 a 2.5cm localidades de Champotón y P.Neyac.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 11. Producción de biomasa radicular en el tiempo inicial (T0: nov.-2013), T1 (12 meses: nov.-2014), T2 (24 meses: nov.-2015) a lo largo del perfil de vegetación en los humedales de mangle a lo largo del litoral de Campeche, Campeche.

Localidad		**Biomasa de raíz por sitio (gr m^{-2})**		
Categoría por diámetro de raíz (cm)	**Tiempo**	**0-0.2**	**0.21-0.5**	**0.51-2.5**
	T0	10070	4050	4900
P**eten Neyac**, Reserva de la Biósfera Los Petenes.	T1	26,585.23	129.54	17.27
	T2	48277.68	36.8	393.5
	T0	6,063.50	4500	5300
Rio Verde, Reserva de la Biósfera Los Petenes.	T1	9,953.95	115.97	24.68
	T2	43,719.70	499.6	175.1
	T0	47,418	545.7	929.9
Sabancuy, Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.	T1	29,531.19	98.7	218.37
	T2	43,076.70	164	0
	T0	10,000	4,044	4,300
Xibujá, Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.	T1	8,788.00	8.64	0
	T2	25,599.70	166.5	64.1
	T0	13000	10090	10400
Estero Pargo, Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.	T1	6,049.08	45.65	0
	T2	49,234.50	34.5	0
	T0	9900	6760	6740
Atasta, Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.	T1	35,336.76	75.26	403.44
	T2	23,360.30	34.5	0
	T0	30,380	4,890	4,900.90
Champotón, Campeche.	T1	7,930.29	294.87	48.12
	T2	51,119.10	773.5	572.4

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 12. ANOVA de 2 vías, factor 1 con 7 niveles: sitios (Peteneyac, Río Verde, Champotón, Xibuja, Sabancuy, Estero Pargo y Atasta) factor 2 con 2 niveles: tiempo de muestreo (12 y 24 meses) en la producción de biomasa de raíz del litoral del estado de Campeche con un nivel de significancia α=0.05*

Fuente	Gl	**B. Raíz de 0 – 0.2 cm (g/m^2)**	**B. Raíz de 0.21 – 0.5 cm (g/m^2)**	**B. Raíz de 0.51 – 2.5 cm (g/m^2)**
EFECTOS PRINCIPALES				
A:Meses (12 y 24)	1	0.192	0.695	0.338
B:Sitio	6	0.035*	0.019*	0.543
INTERACCIONES				
AB	6	0.093	0.938	0.797
Error	37			
TOTAL	50			

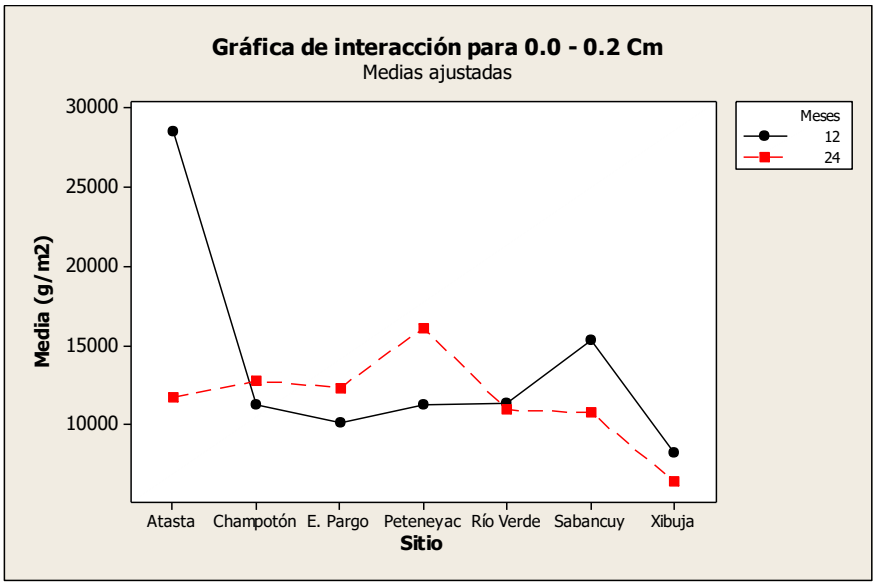

Figura 58. Gráfica de interacción para diámetros de raíz de 0.0 a 0.2 cm por sitio y tiempo (T1 y T2).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

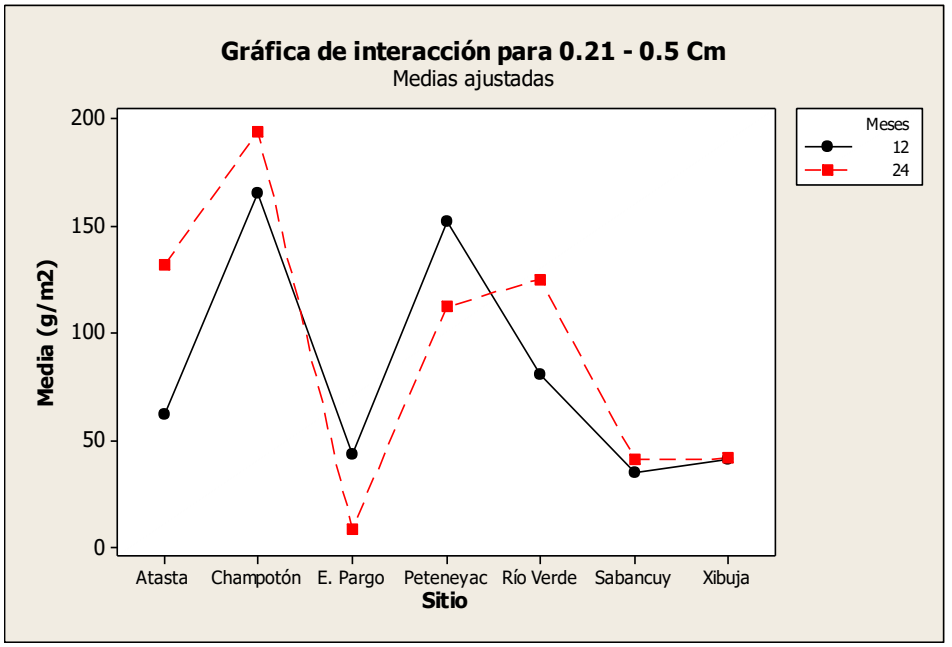

Figura 59. Gráfica de interacción para diámetros de raíz de 0.21 a 0.5 cm por sitio y tiempo (T1 y T2).

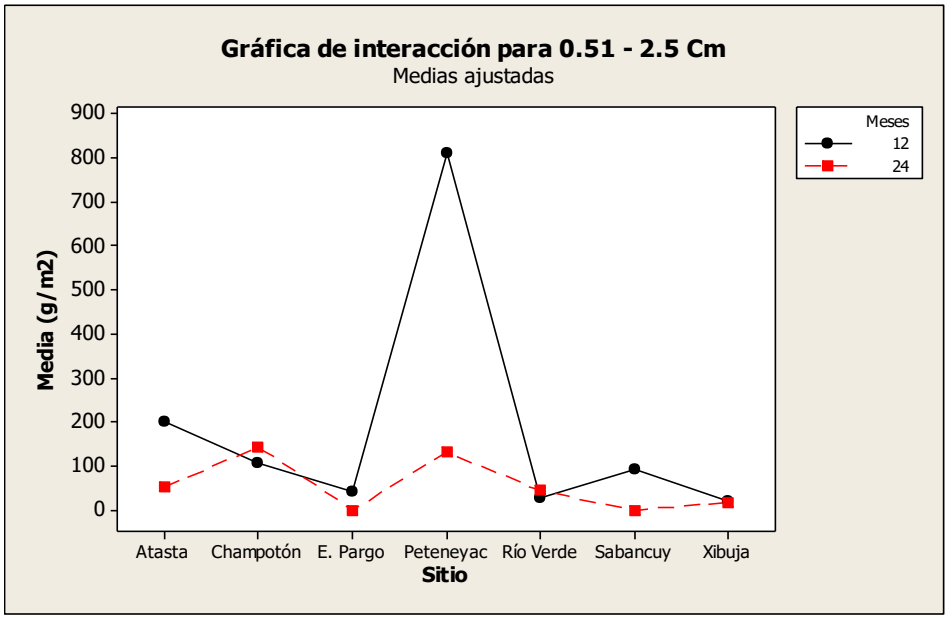

Figura 60. Gráfica de interacción para diámetros de raíz de 0.51-2.5cm por sitio y tiempo (T1 y T2).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

5.2.2.3. Regeneración potencial

El comportamiento de la regeneración natural establecido apartir de noviembre de 2013 a noviembre del 2016, en las áreas de estudio son descritas a continuación:

5.2.2.3.1 Juveniles

En general, la tasa de crecimiento del 2013 al 2016 de las plántulas de manglar en la RBLP, presentaron 0.01± 0.0001 cm días^{-1} y 0.02 ± 0.01 cm días^{-1} en la franja de la orilla y en el bosque posterior a este, respectivamente. Las plántulas del APFFLT, registraron tasas superiores de crecimiento en ambas franjas con respecto a las de RBLP; con 0.01± 0.01 cm. días^{-1} en la orilla y 0.02± 0.01 cm días^{-1} hacia el interior del bosque.

Por otra parte, la mortalidad de las plántulas detectada en este estudio, es derivado principalmente a la magnitud y tipo de impacto antrópico de cada sitio (ej. cambios el patrón hidrológico, dinámica de los sedimentos, aportes de agua residuales, efectos por deforetacion etc.) y mortalidad natural (**Tabla 13)**; registrandose intervalos de 0 a 25% para la RBLP y 0 a 75% para el APFFLT (cambios el patrón hidrologico y dinamica de los sedimentos) (**Tabla 13**).

Año 2013

Los sitios de Sabancuy y Estero Pargo registraron alta densidad de juveniles a lo largo de cada perfil de vegetación; se reportan valores que van de 40,800 indv. ha^{-1} con dominancia de *A. germinans*, y 343,200 indv. ha^{-1} con dominancia de *A. germinans* y *R. mangle*, en el bosque que bordea a la laguna, respectivamente. En específico, la parte interna del bosque de Sabancuy también se exhibe altos valores de densidad en comparación al total de los sitios establecidos en el APFyFLT (59,600 indv. ha^{-1} con dominancia de *A. germinans*). La altadensidad refleja la constante presión a la que está sometida el humedal, como es el caso de la tala inmoderada, debido que al abrirse claros de vegetación permite el establecimiento de plantas más jóvenes. Por esta razón éste sitio presentó alta tasa de crecimiento (0.042 y 0.044 cm.día^{-1} en el bosque de la orilla e interno) y mortalidad (50% y 75% en el bosque de la orilla e interno. **Tabla 13**).

En el caso de los humedales de Xibujá y Atasta se detectaron densidades que van de 19,400 indv. ha^{-1} a 6,400 indv. ha^{-1} con dominancia de *A. germinans* para el caso de Xibujá; y hacia el interior del perfil, 12,200indv. indv. ha^{-1} para Xibujá.). La tasa de crecimiento en el perfil de vegetación de Xibujá se estimó en 0.010 cm.$día^{-1}$ (bosque de la orilla) y 0.014 cm.$día^{-1}$ (bosque interno), y en Atasta un valor similar al reportado (**Tabla 13**). Sin embargo, la mortalidad anual registrada en el bosque interno fue mayor en el bosque de la orilla de Atasta (35%) mientras que en Xibujá se exhibe un decremento de la orilla hacia el interior del bosque (10% y 20%.**Tabla 13**).

Por otra parte, en Champotón se detectó que la densidad de juveniles fue mayor en un 74% hacia el interior del bosque (23, 200 indv. ha^{-1}), puesto que a la orilla del río se establecen en su mayoría árboles adultos (Ver estructura capítulo de estructura forestal). Las tasas de crecimiento en los bosque que componen el perfil de vegetación es de 0.0067 cm. $días^{-1}$ y0.0078 cm. $días^{-1}$, sin embargo, la mortalidad anual registrada en el bosque interno fue mayor al bosque del borde, con 60% y 35%, respectivamente (**Tabla 12**).

Así mismo, los bosques que bordean la línea de costa en los dos sitios en estudio, ubicados en la RBLP, registraron densidades de juveniles de 8,400 indv. ha^{-1} a 7,200 indv. ha^{-1} en Petén Neyac y Río verde, respectivamente. En el caso de los bosques internos se detectaron densidades similares en los sitios antes citados (de 11,800 indv/ha y 10,200 indv/ha, correspondientemente). Las tasas de crecimiento y porcentajes de mortalidad de los juveniles fueron similares en Peten Neyac y Río Verde a través de perfiles de vegetación, excepto el bosque interno de Río Verde que registra una mortalidad del 25% (**Tabla 13**).

Año 2016

Referente a los bosques ubicados en el APFyFLT, Sabancuy, Xibujá, Estero Pargo, presentaron menor densidad de juveniles de 7,800 indv.ha^{-1}, 8,400 indv.ha^{-1} y 14,000 indv.ha^{-1}, al borde de la laguna respectivamente. Siendo Atasta, el único sitio que registró un incremento del 2013 al 2016 (11,200 indv.ha^{-1}). En el caso de los bosques internos, se establece una densidad de 17,200 indv.ha^{-1}, 6,200 indv.ha^{-1}, 16,800 indv.ha^{-1}, para Sabancuy, Xibujá y Estero Pargo. Es importante destacar que las especies dominantes fueron *R. mangle*

y A. germinans, además de que las tasas de crecimiento fueron similares entre los sitios, excepto Sabancuy (**Tabla 13**); no así, con el porcentaje de mortalidad (**Tabla 13)**. Lo anterior debido a que Sabancuy a pesar de registrar la tasa de crecimiento más alta (0.056 cm.días^{-1}); la mortalidad de los juveniles fue la más alta de todas las localidades, con 50% y 75% (**Tabla 13**) a través del perfil de vegetación. Esto atribuido a que los juveniles no logran sobrevivir por efectos de la deforestación, aportes de agua residual, mayor temperatura y tiempo de residencia del agua intersticial, asi como valores del potencial redox bajos (hipoxicos), pues a medida que las plántulas son más grandes, y alcanzan el estado de juvenil e incluso adulto, la tolerancia a condiciones adversas va disminuyendo, al tener que mantener mayor biomasa. Caso contrario en los humedales de Atasta, pues los junveniles presentaron 35% de mortalidad y en Estero Pargo de 0 y 815% a través del perfil, menor a Sabacuy. Puesto que estos ecosistemas de mangle reciben aportes de nutrientes terrigenicos, con tiempos de residencial del agua intersticial y concentracion de la salinidad bajos. Las tasas de crecimiento en ambos bosques fueron de 0.042 cm. días^{-1}, sin embargo, la mortalidad anual registrada en el bosque interno fue mayor al bosque del borde, con 50% y 175%, respectivamente (**Tabla 13**).

En Champotón se mantuvo el patrón registrado durante el 2013, es decir la densidad de juveniles fue mayor en el bosque interno, de esta manera se reportan valores de 8,000 indv.ha^{-1} a 10,600 indv. ha^{-1} en el bosque que bordea la orilla del río e interior, respectivamente. Las tasas de crecimiento en ambos bosques fueron de 0.0067 cm. días^{-1} y 0.0078 cm. días^{-1}, sin embargo, la mortalidad anual registrada en el bosque interno fue mayor al bosque del borde, con 35% y 60%, respectivamente (**Tabla 13**).

Los bosques que bordean la línea de costa en los dos sitios en estudio, ubicados en la RBLP, registraron densidades de juveniles de 4,200 indv. ha^{-1} a 6,000 indv. ha^{-1} en Petén Neyac y Río verde, respectivamente. En el caso de los bosques internos se detectaron densidades similares en los sitios antes citados (de 10,400 indv/ha y 7,400 indv/ha, correspondientemente). Las tasas de crecimiento y porcentajes de mortalidad de los juveniles fueron similares en Peten Neyac y Río Verde a través de perfiles de vegetación, excepto el bosque interno de Río Verde que registra una mortalidad del 25% (**Tabla 13**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 13. Tasas de crecimiento en 1,065 días plántulas y juveniles de mangle en parcelas de 1x1 m y 5x5m respectivamente, durante el año 2013 y 2016, en siete sitios localizados a lo largo del litoral del estado de Campeche. [1]Área de Protección de Flora Fauna laguna de Términos y [2]Reserva de la Biosfera Los Petenes.

	Plántulas				Juveniles			
SITIOS Especies	**Tasa de crecimiento (cm.día^{-1})**	**r^2**	**P**	**Mortalidad (%)**	**Tasa de crecimiento (cm. día^{-1})**	**r^2**	**P**	**Mortalidad (%)**
Sabancuy[1]	*0.055	0.98	0.001	95	0.042	0.99	0.001	50
	0.000	0.00	0.00	100	0.044	0.99	0.001	75
Xibujá [1]	*0.0076	0.98	0.001	75	0.010	0.97	0.001	10
	0.000	0.00	0.000	100	0.014	0.90	0.001	20
Estero Pargo[1]	*0.0087	0.98	0.001	75	0.015	0.93	0.001	0
	0.006	0.95	0.001	85	0.012	0.98	0.001	15
Atasta[1]	*0.0083	0.86	0.001	60	0.01	0.99	0.001	35
Champotón[2]	*0.0041	0.97	0.001	80	0.0067	0.94	0.001	35
	0.000	0.00	0.00	100	0.0078	0.95	0.001	60
Peten Neyac[3]	*0.0048	0.91	0.001	15	0.012	0.96	0.001	0
	0.005	0.94	0.001	30	0.012	0.93	0.001	10
Río Verde[3]	*0.0056	0.98	0.001	55	0.014	0.93	0.001	10
	0.015	0.95	0.001	90	0.033	0.93	0.001	25

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

5.2.2.3.2 Plántulas

En general, la tasa de crecimiento del 2013 al 2016 de las plántulas de manglar en la RBLP, presentaron 0.0048± 0.0005 cm días^{-1} y 0.01 ± 0.007 cm días^{-1} en la franja de la orilla y en el bosque posterior a este, respectivamente. Las plántulas del APFFLT, registraron tasas superiores de crecimiento en ambas franjas con respecto a las de RBLP; con 0.01± 0.02 cm. días^{-1}. Estas diferencias son atribuidas debido a que en la zona suroeste del APFFLT recibe escurrimientos constantes ricos en nutrientes de los Río San Pedro, San Pablo y Río Palizada, principalmente durante la temporada de lluvia (Villalobos Zapata *et al.*, 1999). Agraz Hernández (1999) menciona tasas de crecimiento similares a las encontradas en todas las localidades en estudio, tanto para plántulas de *A. germinans* como para *R. mangle*, bajo condiciones experimentales de elevación microtopográfica, desarrollado en el estado de Sinaloa.

Por otra parte, la mortalidad de las plántulas detectada en este estudio, es derivado principalmente por la magnitud y tipo de impacto antrópico de cada sitio (**Tabla 13)**; registrandose intervalos de15 a 90% para la RBLP (el 50% está referido al impacto generado por la carretera sobre la regeneración natural en los bosques internos) y 75 a 100% para el APFFLT (cambios el patrón hidrologico y dinamica de los sedimentos) (**Tabla 13**).

Finalmente, el alto porcentaje de mortalidad del 2013 al 2106 que exhibieron la plántulas en las localidades en estudio, son atribuidas principalmente al magnitud y tipo de impacto antrópico que se presenta en cada sitio (ej. cambios el patrón hidrológico, dinámica de los sedimentos, aportes de agua residuales, efectos por deforetacion etc.) y mortalidad natural (**Tabla 13**).

Año 2013

En gespecífico, el APFyFLT registró densidades de 33 indv.m^{-2} y 26 indv.m^{-2} en los bosques que bordean la línea de costa de Sabancuy y Xibujá, respectivamente; y, en la parte interna del perfil de ambos bosques, las densidades fueron de 23 indv.m^{-2}, 11 indv.m^{-2}; y 49 indv.m^{-2} para Estero pargo; siendo Sabancuy quien registró las mayores tasas de mortalidad (50 y 70% a traves del perfil de vegetación). En el caso de Atasta, la mortalidad sólo se detecto en

un 30% con una densidad de plántulas del 15 indv.m^{-2} (**Tabla 13**). Por otra parte, las tasas de crecimiento de las plántulas ubicadas en el APFyFTL fueron superiores a las observadas en la RBLP (**Tabla 13**). Estas diferencias son atribuidas debido a que en la zona suroeste del APFyFLT recibe escurrimientos constantes ricos en nutrientes de los ríos San Pedro, San Pablo y Palizada, principalmente durante la temporada de lluvia (Villalobos Zapata *et al.*, 1999). Agraz Hernández (1999) establecio tasas de crecimiento similares en diferentes localidades en plántulas de *A. germinans* y *R. mangle*, bajo condiciones experimentales donde la calidad del agua era la misma para ambas especies.

En Champotón, se detectaron densidades de 74 indv.m^{-2} plántulas en el bosque que bordea el río. La tasa de crecimiento fue de 0.01 y 0.009 cm. días^{-1} a través del perfil de vegetación y mortalidades desde el 10% hasta el 30%.

Así mismo, las densidades de plántulas de manglar de las localidades que conforman la RBLP registraron intervalos de 26 indv.m^{-2} a 56 indv.m^{-2}en el bosque que bordea a la línea de costa en Petén Neyac y Río Verde, respectivamente. En los bosques interno la densidad y tasas de crecimiento de las plántulas fue de 33 indv.m^{-2} y 0.01 cm. días^{-1} en Peten Neyac y de 48 indv.m^{-2} y 0.04 cm. días^{-1} para Río Verde. Las mayores mortalidades fueron detectadas en Río Verde (5 y 10%), en comparación de las plántulas de Peten Neyac (0%).

Año 2016

Durante el 2016 los sitios de la APFyFLT presentaron disminución en densidad a través del perfil de vegetación. De esta manera, Sabancuy, Xibujá y Estero Pargo registran 4 indv.m^{-2}, 8 indv.m^{-2}, 10 indv.m^{-2} en el bosque que bordea a la laguna; y de 6 indv.m^{-2}, 5 indv.m^{-2} y 16 indv.m^{-2} hacia la parte interna, respectivamente. Las bajas densidades corresponde a la alta tasa de mortalidad que se registra en los sitios, siendo Sabancuy quien registró las mayores tasas de mortalidad (95 y 100% a traves del perfil de vegetación).

En el caso del humedal de Champotón, se detecta un patrón de disminución en densidad entre años y a través del perfil de vegetación, 10 indv.m^{-2} en la orilla del río y 5 indv.m^{-2} hacia el interior del bosque. La tasa de crecimiento fue de 0.004 y 0.009 cm. días^{-1} a través del perfil de vegetación y mortalidades desde el 80% hasta el 100%.

Finalmente, los sitios que conforman la RBLP, establecen 24 indv.m^{-2} y 64 indv.m^{-2} en el bosque que bordea a la línea de costa de Petén Neyac y Río Verde. Hacia el interior de los bosques, se detectó 32 indv.m^{-2} y 21 indv.m^{-2}, respectivamente. La tasa de crecimiento fue mayor en el bosque interno de Río Verde (0.1 cm. días^{-1}); así mismo, la mayor tasa de mortalidad también es registrada en este bosque y sitio (90%. **Tabla 13**).

5.2.2.4. Incremento diametral

El incremento diametral entre las siete localidades en estudio exhibió un comportamiento heterogéneo. El humedal de Estero Pargo, Xibujá y Atasta registraron la mayor tasa de crecimiento en los bosques ubicados a la orilla del canal, compuestos principalmente por un tipo fisonómico ribereño con dominancia de *R. mangle*, la cual se ve beneficiada por las condiciones fisicoquímicas del agua intersticial, aporte de nutrientes y mayor frecuencia de inundación (**Tabla 14**). El sitio de Sabancuy exhibio la menor tasa de crecimiento en la orilla del canal, esto principalemnte al estrés de las altas concentraciones de salinidad que ha prevalecido a lo largo de los tres años de estudio, asolvamiento, tala inmoderada, entre otros impactos de orgen antrópico (**Tabla 14**).

Hacia la parte interna de los perfiles de vegetación, el humedal de Champotón registró la mayor tasa de crecimiento, seguido de Xibujá, Sabancuy, puesto que Champotón y Xibujá reciben aportes de agua dulce que favorece en mayor grado el desarrollo de las especies establecidas. Finalmente, en Petén Neyac, Río Verde y E. Pargo, se registran las menores tasas de crecimiento en los bosques internos, resultado del incremento topográfico, altas concentraciones de salinidad y tiempo largo de residencia del agua (**Tabla 14**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 14. Crecimiento diametral promedio del 2014 al 2016 (por arriba y por debajo de 1.30 m de la altura del árbol) en siete perfiles de mangle ubicados a lo largo del litoral del estado de Campeche.

Localidad	Franja	Incremento diametral (cm/ 36 meses) Abajo	Arriba	Promedio
Sabancuy. Área de Protección de Flora y Fauna. Laguna de Términos. Campeche.	F1	0.38±0.23	0.44±0.20	0.14
	F2	0.63±1.24	0.59± 1.27	0.61
Xibuja. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Campeche.	F1	0.44±0.53	0.35±0.45	0.35
	F2	0.48±0.57	0.84±0.92	0.66
Estero Pargo. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Campeche.	F1	0.65±0.46	0.39±0.31	0.52
	F2	0.29±0.35	0.31±0.43	0.30
Atasta. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Campeche.	F1	0.44± 0.53	0.35±0.45	0.35
Champotón, Campeche.	F1	0.25±0.21	0.36±0.43	0.30
	F2	0.39±0.37	0.78±0.35	0.67
Peten Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes". Campeche.	F1	0.16±0.58	0.15±0.54	0.16
	F2	0.15±0.13	0.14±0.20	0.14
Rio Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes". Campeche.	F1	0.76+0.55	0.29±0.42	0.39
	F2	0.35±0.43	0.31±0.36	0.33

5.2.3. Escenarios ambientales

Se solicitó a la CONAGUA los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas más cercanas a los siete sitios en estudio (**Tabla 15**).

Tabla 15. Estaciones meteorológicas con mayor injerencia en las siete estaciones en estudio.

Estación	Longitud	Latitud	Altitud
“CD. Del Carmen”	91°49'21"	18°38'53"	8
“Isla Aguada”	91°26'06"	18°50'46"	
“Campeche”	90°30'00"	19°50'00"	5
“Los Petenes”	90°22'26"	19°56'36"	2

La precipitación total mensual de las cuatro estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades en estudio durante el periodo de agosto de 2013 a diciembre del 2016, indica heterogeneidad en la precipitación a lo largo del litoral de Campeche. De esta manera se observó un desplazamiento en la precipitación, puesto que durante el año 2014 para el mes

de mayo se registró alta precipitación fluvial, caso contrario para los años 2015 y 2016 en donde el mes de mayo se caracterizó por escasas lluvias. Por otra parte, las mayores precipitaciones durante los tres años de estudio se registran en Isla Aguada (**Fig. 61**) y las menores hacia la parte norte del estado (Los Petenes).

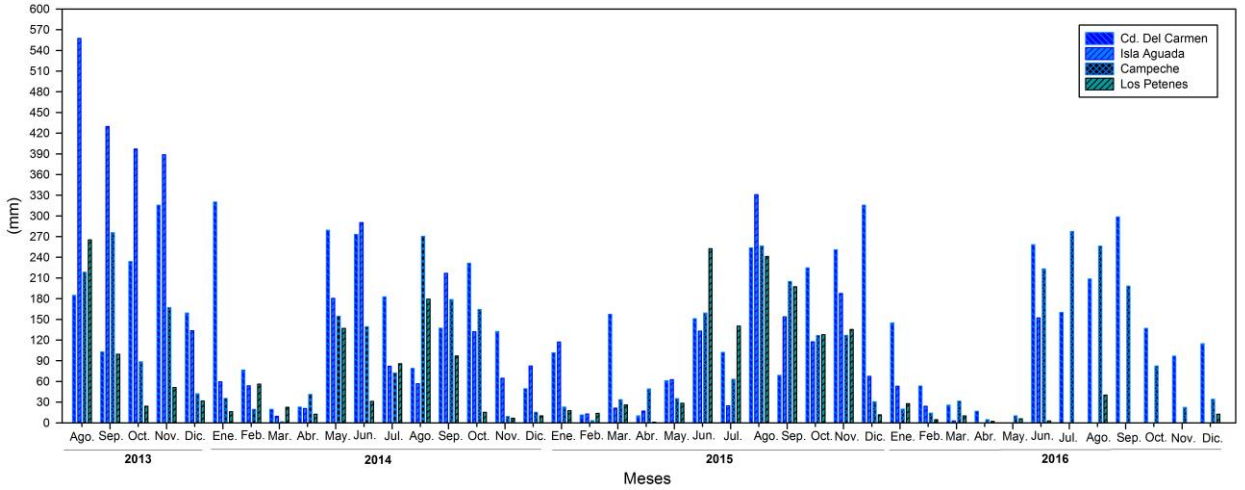

Figura 61. Precipitación total de agosto de 2013 a junio de 2016 en siete estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo del litoral del Estado de Campeche. México. Datos obtenidos de la CONAGUA. *****Datos pendientes por proporcionar la CONAGUA.

5.2.4. 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).

Para la caracterización química de la turba de manglar se colectaron núcleos por cada tipo fisonómico (sitio) para cada localidad en estudio. 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.

5.2.4.1. Características químicas del suelo Nutrientes en la turba de manglar en los diferentes bosques (nitrógeno y fósforo total)

Diversos autores mencionan que la mayor parte del nitrógeno y el fosforo que se encuentra en el suelo de los manglares, en concentraciones relativamente bajas asimilables por las plantas y en forma de compuestos de amonio, nitratos y fosfatos (Bautista *et al.*, 2005; Jackson1970; Karmarkar 1982; y Moreno *et al.*, 2002). Debido a lo anterior, es posible obtener la concentración de nitrógeno total del suelo de manera indirecta, esto mediante el análisis del porcentaje de la materia orgánica, con la relación 20:1 de la materia orgánica y el nitrógeno total.

Para los bosques de manglar de las 7 localidades en estudio, se observó una disminución de la fracción orgánica con forme se incrementa la profundidad en el perfil del sedimento. Comportamiento general en el porcentaje de fósforo total en relación al contenido de materia orgánica del sedimento. Autores como 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 resultados de los sedimentos de los bosques de manglar en estudio, han sido clasificados como Histosoles por su alto porcentaje de materia orgánica. Así como, ricos en porcentaje de fosforo total, con valores mayores o iguales a 0.6 (**Tabla 16**).

Así mismo, durante noviembre del 2013, los bosques de mangle ubicados en Champotón, Estero Pargo, Sabancuy y Atasta registraron el mayor porcentaje de fósforo total en los sedimentos. En el caso del nitrógeno total, estos mismo sitios y río Verde. Esta tendencia descrita se repite en el 2016, con mayor efecto en Champotón y Sabancuy, para el caso del fósforo. Esto debido al alto contenido de materia orgánica, consecuencia de los flujos de descargas de origen antropogénico y las prácticas ganaderas y agrícolas (compuestos nitrogenados) que se realizan en la cuenca media y que son acarreados hasta la zona costera por los ríos. Además de que el porcentaje de fósforo total en el sedimento del humedal ubicado en el estero de Sabancuy presenta altas concentraciones debido a las actividades antrópicas que se desarrollan adyacente a este.

Es importante señalar que el fósforo es un nutriente de origen alóctono al humedal de mangle. Las mayores concentraciones de fosforo total en los sitios en estudio se encuentran en las primeras capas, puesto que posterior sufre degradación por mediante procesos biogeoquímicos. Similar comportamiento fue registrado para el nitrógeno y fosforo total, estableciéndose los máximos valores en los sitios con influencia de ríos o aportes de agua residual y por horizonte (**Tabla 16 y 17**). Similares porcentajes de nitrógeno total fueron encontrados por Moreno *et al.* (2002) en suelos de manglar en el estado de Tabasco.

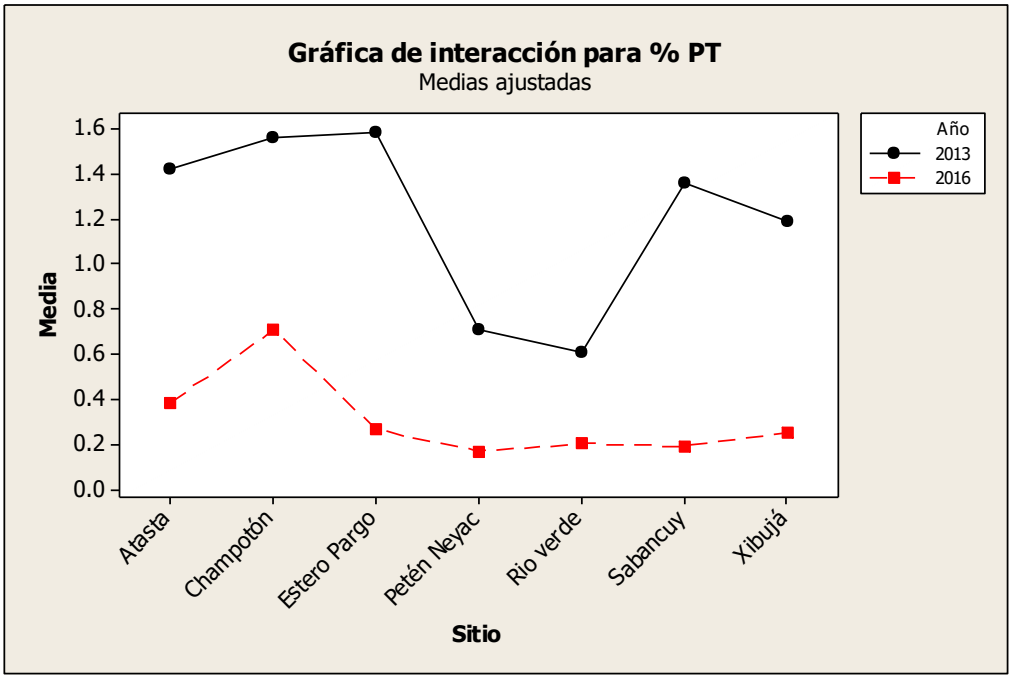

Figura 62. Gráfica de interacción para el porcentaje de fósforo total en sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 16. Porcentaje inicial de fósforo total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Noviembre- Diciembre 2013).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Fósforo total (%)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	1.32	0.07
	10 - 20	1.69	0.25
	20 - 30	1.41	0.22
	30 - 40	1.37	0.15
	40 - 50	1.57	0.24
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	0.89	0.28
	10 - 20	0.60	0.07
	20 - 30	0.97	0.26
	30 - 40	0.81	0.19
	40 - 50	1.01	0.23
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	1.94	0.16
	10 - 20	1.56	0.19
	20 - 30	1.61	0.37
	30 - 40	1.47	0.09
	40 - 50	1.34	0.17
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	1.54	0.25
	10 - 20	1.23	0.06
	20 - 30	1.41	0.27
	30 - 40	1.37	0.09
	40 - 50	1.68	0.00
Champotón, Campeche	0 -10	1.41	0.08
	10 - 20	1.63	0.12
	20 - 30	1.46	0.11
	30 - 40	1.68	0.25
	40 - 50	1.63	0.30
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans)*	0 -10	0.70	0.013
	10 - 20	0.72	0.099
	20 - 30	0.68	0.033
	30 - 40	0.66	0.063
	40 - 50	0.76	0.172
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans)*	0 -10	0.63	0.037
	10 - 20	0.52	0.023
	20 - 30	0.60	0.051
	30 - 40	0.66	0.113
	40 - 50	0.61	0.058

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 17. Porcentaje final de fósforo total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Diciembre 2016).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Fósforo total (%)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	0.25	0.07
	10 - 20	0.22	0.06
	20 - 30	0.22	0.07
	30 - 40	0.17	0.03
	40 - 50	0.20	0.03
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	0.13	0.08
	10 - 20	0.07	0.12
	20 - 30	0.14	0.05
	30 - 40	0.24	0.01
	40 - 50	0.28	0.1
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	0.25	0.05
	10 - 20	0.29	0.058
	20 - 30	0.25	0.020
	30 - 40	0.28	0.091
	40 - 50	0.04	0.077
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	0.39	0.05
	10 - 20	0.44	0.07
	20 - 30	0.35	0.03
	30 - 40	0.33	0.02
	40 - 50	0.31	0.02
Champotón, Campeche	0 -10	0.79	0.07
	10 - 20	0.64	0.05
	20 - 30	0.74	0.05
	30 - 40	0.69	0.05
	40 - 50	0.69	0.04
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans)*	0 -10	0.07	0.07
	10 - 20	0.19	0.09
	20 - 30	0.15	0.1
	30 - 40	0.21	0.1
	40 - 50	0.19	0.1
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans)*	0 -10	0.21	0.06
	10 - 20	0.14	0.07
	20 - 30	0.17	0.03
	30 - 40	0.17	0.02
	40 - 50	0.29	0.04

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 18. Porcentaje inicial de nitrógeno total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Noviembre-Diciembre del 2013).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Nitrogeno total (%)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.40	0.11
	10 - 20	0.31	0.08
	20 - 30	0.21	0.07
	30 - 40	0.15	0.06
	40 - 50	0.12	0.04
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.26	0.08
	10 - 20	0.19	0.07
	20 - 30	0.13	0.03
	30 - 40	0.11	0.03
	40 - 50	0.09	0.02
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.67	0.00
	10 - 20	0.53	0.02
	20 - 30	0.44	0.02
	30 - 40	0.35	0.07
	40 - 50	0.26	0.03
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.61	0.01
	10 - 20	0.49	0.03
	20 - 30	0.48	0.07
	30 - 40	0.34	0.03
	40 - 50	0.38	0.00
Champotón, Campeche.	0 -10	0.63	0.04
	10 - 20	0.55	0.03
	20 - 30	0.53	0.020
	30 - 40	0.49	0.03
	40 - 50	0.44	0.05
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10	0.44	0.12
	10 - 20	0.46	0.10
	20 - 30	0.33	0.11
	30 - 40	0.23	0.10
	40 - 50	0.31	0.026
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10	0.99	0.03
	10 - 20	0.79	0.08
	20 - 30	0.56	0.10
	30 - 40	0.37	0.05
	40 - 50	0.50	0.15

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 19. Porcentaje final de nitrógeno total en perfiles de suelo de mangle en siete localidades a lo largo del litoral de Campeche (Diciembre 2016).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Nitrogeno total (%)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10 10 - 40 40 - 50	1.48 0.66 0.35	0.53 0.33 0.43
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10 10 - 40 40 - 50	0.23 0.49 0.35	0.24 0.1 0.2
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10 10 - 40 40 - 50	1.10 0.7 0.6	0.1 0.5 0.05
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10 10 - 40 40 - 50	1.4 1.10 0.9	0.2 0.1 0.1
Champotón, Campeche.	0 -10	0.9	0.06
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	10 -50 0- 10 10 - 50	1.2 1. 1.2	0.1 0.1 0.4
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10 10 - 40 40 - 50	1.48 1.24 1.08	0.53 0.38 0.26

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

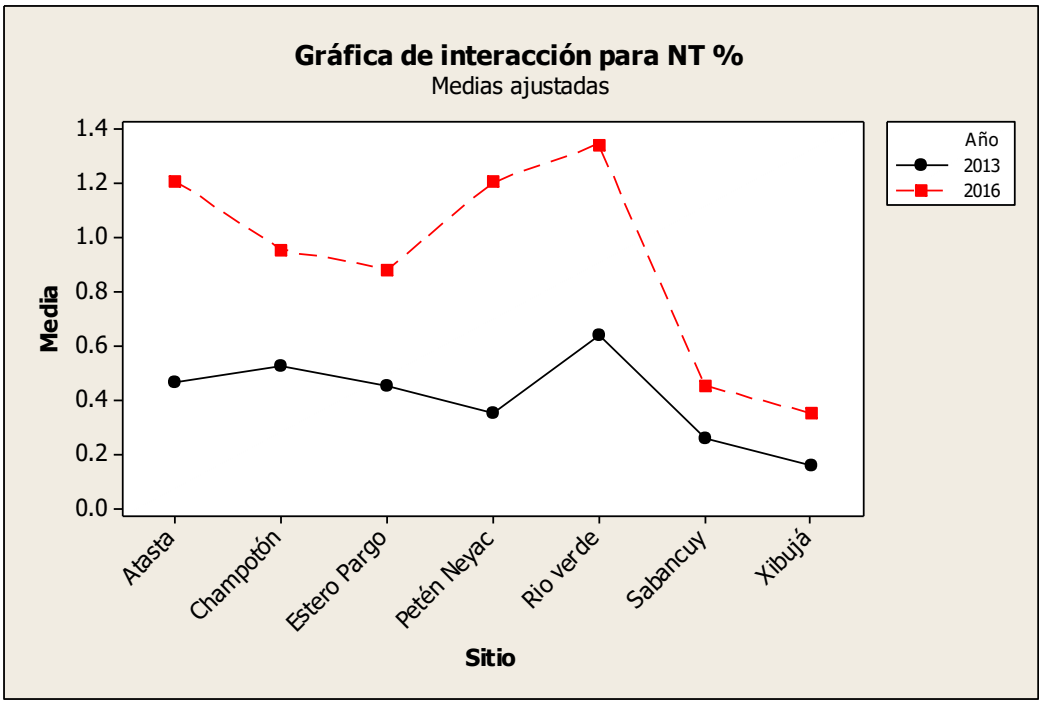

Figura 63. Gráfica de interacción para el porcentaje de nitrógeno total en sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio.

5.2.4.2. Parámetros químicos del sedimento

Los principales atributos del sustrato en los manglares son la humedad, textura, salinidad, potencial redox y composición química; debido a los procesos geomórficos. Los manglares reflejan cada uno de estos procesos en los gradientes ambientales de la elevación, drenaje, estabilidad, características del suelo, y de las entradas de nutrientes (Woodroffe, 1983,1992; Fujimoto *et al.*, 1996).

Autores como Brady (1999) indican que el agua es el principal componente del suelo en humedales y las condiciones temporales o permanentes de anaerobiosis son las que determinan la mayoría de los procesos que en ellos se desarrollan. Por ello, Brady y Weil (1999) han indicado que la descomposición microbial es más rápida en presencia de oxígeno, actuando este como receptor de electrones durante la oxidación aeróbica de compuestos orgánicos; tal como se aprecia en los suelos de mangle en las diferentes localidades en estudio.

Por lo descrito, se analizaron las características químicas del sedimento de manglar por cada tipo fisonómico (sitio) para cada localidad en estudio. 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.

Durante noviembre del 2013, los resultados de los parámetros fisicoquímicos de sedimento indican que las condiciones más reductoras se localizan en APFFLT, esto derivado de la menor inundación vía intersticial, puesto que laguna de Términos presenta menor flujo y reflujo del agua dentro del sistema por el asolvamiento que se ha venido suscitando no solo por el mismo proceso de envejecimiento de la laguna, sino también por el incremento de los aporte de sedimento provenientes de la cuenca alta, por cambios en el patrón hidrológico y la deforestación (Agraz Hernández *et al.*, 2012. **Tabla 20**). Esto sustentado a su vez por el comportamiento antes descrito en el valor del potencial redox del agua intersticial. Caso contrario a la RBLP, puesto que los ecosistemas de mangle en este sitio dependen de la influencia marina y los escurrimientos vía superficial e intersticial de la cuenca media y alta hacia la zona costera. Por ello los valores del potencial redox establecen condiciones oxicas-hipóxicas y con mayor variabilidad (**Tabla 20**).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 20. Promedio de los parámetros químicos por horizonte en el sedimento a lo largo de los perfiles de mangle en diferentes zonas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Término (APFFLT) y la Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP. Noviembre de 2013).

SITIOS/Especie	Profundidad (cm)	pH	Error estándar	Potencial redox (mV)	Error estándar
Sabancuy, en el APFFLT	0	6.48	0.17	-292.00	82.00
	45	6.70	0.70	-285.50	23.50
Xi buja en el APFFLT, Campeche	0	6.44	0.14	-256.50	21.50
	45	6.42	0.32	-226.00	24.00
Estero Pargo en el APFFLT, Campeche	0	7.16	0.07	-330.00	10.00
	45	7.22	0.09	-350.00	20.00
Atasta en el APFFLT, Campeche	0	6.59	0.17	-301.50	11.50
	45	6.34	0.10	-279.00	61.00
Champotón, Campeche	0	7.05	0.05	-251.00	1.00
	45	6.85	0.26	-366.50	1.50
Petén Neyac en la RBLP, Campeche. (*A. germinans*)	0	6.60	0.30	-119.45	140.55
	45	6.84	0.31	-318.00	5.00
Río Verde en la RBLP, Campeche. (*A. germinans*)	0	6.70	0.20	-199.35	77.65
	45	6.80	0.10	-226.70	160.30

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 20. Promedio de los parámetros químicos por horizonte en el sedimento a lo largo de los perfiles de mangle en diferentes zonas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Término (APFFLT) y la Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP. Diciembre de 2016).

SITIOS/Especie	Profundidad (cm)	pH	Error estándar	Potencial redox (mV)	Error estándar
Sabancuy, en el APFFLT	0	7.7	0.01	13	1.0
	45	6.9	0.14	27	8.54
Xi buja en el APFFLT, Campeche	0	7.4	0.1	-5.1	10.26
	45	7.1	0.06	17.4	3.40
Estero Pargo en el APFFLT, Campeche	0	7.0	0.08	19.1	6.3
	45	6.9	0.03	29.2	2.4
Atasta en el APFFLT, Campeche	0	7.02	0.05	21.2	2.68
	45	4.49	1.29	24.1	7.4
Champotón, Campeche	0	7.1	0.09	14.2	5.01
	45	6.9	0.03	22.9	1.9
Petén Neyac en la RBLP, Campeche. (*A. germinans*)	0	6.9	0.06	30.1	6.46
	45	6.9	0.03	24.7	1.7
Río Verde en la RBLP, Campeche. (*A. germinans*)	0	7.12	0.17	15.55	10.3
	45	6.9	0.06	24.5	3.81

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

5.2.4.3. Densidad aparente

Durante noviembre del 2013, la densidad aparente fue analizada en los bosques de mangle de cada localidad, esto a través de los núcleos tomados en cada tipo fisonómico. En todos los sitios se observó un comportamiento general en cuanto a su densidad aparente, esto en relación con la profundidad. Sin embargo, debido a que la turba de manglar por su composición se clasificó como orgánica (Histosoles), se observaron bajas densidades aparentes en Atasta, Estero Pargo, Río Verde y Petén Neyac, con intervalos desde 0.18 a 0.34 g/cm^3 (**Tabla 22**); ya para el 2016, los mismo sitios continuaron registrando bajos valores de densidad (0.12 a 0.20 g/cm^3). Lo anterior está relacionado con el tipo de material orgánico, contenido mineral y humedad (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos, 1975). Así mismo, las densidades aparentes detectadas en las siete localidades en estudio fueron similar a los encontrados por Moreno *et al.* (2002) en suelos de manglar del estado de Tabasco.

En el caso de la densidad aparente de los sedimentos de mangle de la localidad de Xibujá (1.02 g/cm^3 a los 50 cm de profundidad), se observa una alta densidad con respecto a la profundidad del núcleo, patrón que se repite durante el año 2016. Puesto que los horizontes están más compactados debido a que en la superficie del núcleo se registra bajo contenido de materia orgánica.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 21. Densidad aparente inicial en sedimento de mangle, por estratos a lo largo del litoral del Estado de Campeche (Noviembre-diciembre 2013).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm^3)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.47	0.04
	10 - 20	0.55	0.05
	20 - 30	0.61	0.06
	30 - 40	0.73	0.03
	40 - 50	0.89	0.08
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.96	0.02
	10 - 20	1.02	0.03
	20 - 30	1.15	0.01
	30 - 40	1.25	0.01
	40 - 50	1.23	0.02
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.34	0.01
	10 - 20	0.34	0.01
	20 - 30	0.37	0.02
	30 - 40	0.41	0.03
	40 - 50	0.51	0.03
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.44	0.06
	10 - 20	0.44	0.08
	20 - 30	0.51	0.16
	30 - 40	0.55	0.22
	40 - 50	0.32	0.45
Champotón, Campeche.	0 -10	0.49	0.03
	10 - 20	0.46	0.04
	20 - 30	0.46	0.05
	30 - 40	0.52	0.05
	40 - 50	0.57	0.03
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10	0.21	0.02
	10 - 20	0.18	0.01
	20 - 30	0.29	0.04
	30 - 40	0.27	0.02
	40 - 50	0.26	0.01
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10	0.30	0.006
	10 - 20	0.26	0.004
	20 - 30	0.31	0.013
	30 - 40	0.36	0.029
	40 - 50	0.39	0.011

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 22. Densidad aparente final en sedimento de mangle, por estratos a lo largo del litoral del Estado de Campeche (Diciembre 2016).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Densidad aparente	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.38	0.06
	10 - 20	0.37	0.08
	20 - 30	0.46	0.09
	30 - 40	0.54	0.11
	40 - 50	0.57	0.14
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.42	0.06
	10 - 20	0.43	0.04
	20 - 30	0.45	0.08
	30 - 40	0.51	0.09
	40 - 50	0.46	0.07
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.19	0.02
	10 - 20	0.19	0.01
	20 - 30	0.23	0.03
	30 - 40	0.18	0.02
	40 - 50	0.41	0.12
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche.	0 -10	0.17	0.06
	10 - 20	0.19	0.08
	20 - 30	0.18	0.02
	30 - 40	0.24	0.01
	40 - 50	0.26	0.06
Champotón, Campeche.	0 -10	0.17	0.03
	10 - 20	0.18	0.01
	20 - 30	0.17	0.02
	30 - 40	0.24	0.03
	40 - 50	0.25	0.03
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10	0.18	0.02
	10 - 20	0.17	0.01
	20 - 30	0.20	0.01
	30 - 40	0.23	0.03
	40 - 50	0.20	0.02
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*).	0 -10	0.12	0.01
	10 - 20	0.14	0.01
	20 - 30	0.14	0.01
	30 - 40	0.12	0.02
	40 - 50	0.14	0.01

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

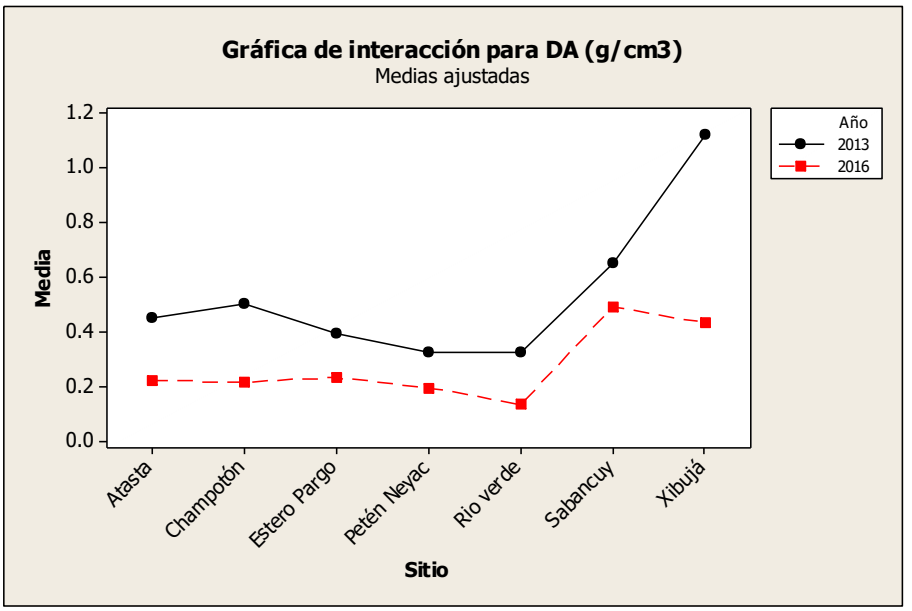

Figura 64. Gráfica de interacción para la densidad de sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio.

5.2.4.4. 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.

Durante noviembre del 2013, los sitios en estudio, establecieron una relación inversa entre el porcentaje de materia orgánica y la profundidad (a mayor profundidad menor porcentaje de materia orgánica). Con excepción los manglares de Atasta, donde esta fue directa. Agraz Hernández et al. (2011) indican que la diferencia en el porcentaje de materia orgánica radica en la cantidad de lluvia, y acarreo de la materia orgánica por escurrimientos y por ríos al humedal. Por ello las localidades presentan diferencia en el porcentaje de materia orgánica, a diferir en las condiciones hidrológicas. Es por ello que durante el 2016, sitios como Champotón (60%), Atasta (50%) y Estero Pargo (47%) continúan registrando los valores máximos de materia orgánica; sin embargo, en menor pocertaje en comparación al año 2013, esto debido a la mayor degradación de la materia organica al incrementar las condiciones oxica. Por otra parte, el contenido de materia orgánica en los sitios de Río Verde y Petén Neyac durante el 2013 fue de 53.67 a 76.17 %, y de 61% a 63% en el 2016, respectivamente; siendo muy común en estos suelos, ya que permanecen inundados durante mucho tiempo y con aportes constantes de materia orgánica (Kilham y Alexander, 1984).

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 23. Concentración inicial de la materia orgánica (%) por horizonte en el sedimento de mangle, por localidad y sitios del Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche y la Reserva de la Biosfera los Petenes (Noviembre 2013).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	50	10.60
	10 - 20	41	8.41
	20 - 30	29	6.72
	30 - 40	19	5.46
	40 - 50	15	2.66
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	28	5.72
	10 - 20	19	4.06
	20 - 30	17	2.56
	30 - 40	15	1.27
	40 - 50	13	2.06
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	57	2.15
	10 - 20	53	2.07
	20 - 30	47	2.70
	30 - 40	43	6.54
	40 - 50	35	5.24
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	59	2.25
	10 - 20	51	1.50
	20 - 30	49	2.50
	30 - 40	49	7.50
	40 - 50	45	0.00
Champotón, Campeche	0 -10	65	2.84
	10 - 20	65	2.48
	20 - 30	66	2.98
	30 - 40	57	4.19
	40 - 50	51	3.32
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*)	0 -10	76	0.33
	10 - 20	72	0.72
	20 - 30	53	6.5
	30 - 40	65	10.6
	40 - 50	63	7.0
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans*)	0 -10	71	1.57
	10 - 20	70	2.92
	20 - 30	62	5.89
	30 - 40	61	6.37
	40 - 50	59	5.92

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

Tabla 24. Concentración final de la materia orgánica (%) por horizonte en el sedimento de mangle, por localidad y sitios del Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche y la Reserva de la Biosfera los Petenes (Diciembre de 2016).

SITIOS Especies	Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Error estándar
Sabancuy. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	32	10.24
	10 - 20	37	6.66
	20 - 30	26	6.37
	30 - 40	28	5.54
	40 - 50	16	3.75
Xibujá. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	21	5.37
	10 - 20	25	6.87
	20 - 30	25	5.86
	30 - 40	23	4.21
	40 - 50	24	3.93
Estero Pargo. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	48	3.54
	10 - 20	52	2.37
	20 - 30	40	6.88
	30 - 40	54	2.33
	40 - 50	40	7.44
Atasta. Área Natural Protegida Laguna de Término, Campeche	0 -10	62	2.12
	10 - 20	56	1.77
	20 - 30	52	4.95
	30 - 40	44	23.69
	40 - 50	56	5.30
Champotón, Campeche	0 -10	60	2.65
	10 - 20	62	1.78
	20 - 30	59	2.64
	30 - 40	63	1.02
	40 - 50	56	3.10
Petén Neyac. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans)*	0 -10	56	12.81
	10 - 20	70	2.66
	20 - 30	64	3.59
	30 - 40	55	5.30
	40 - 50	60	6.41
Río Verde. Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche, Campeche. (*A. germinans)*	0 -10	66	3.63
	10 - 20	50	11.29
	20 - 30	65	3.14
	30 - 40	65	4.92
	40 - 50	69	2.47

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

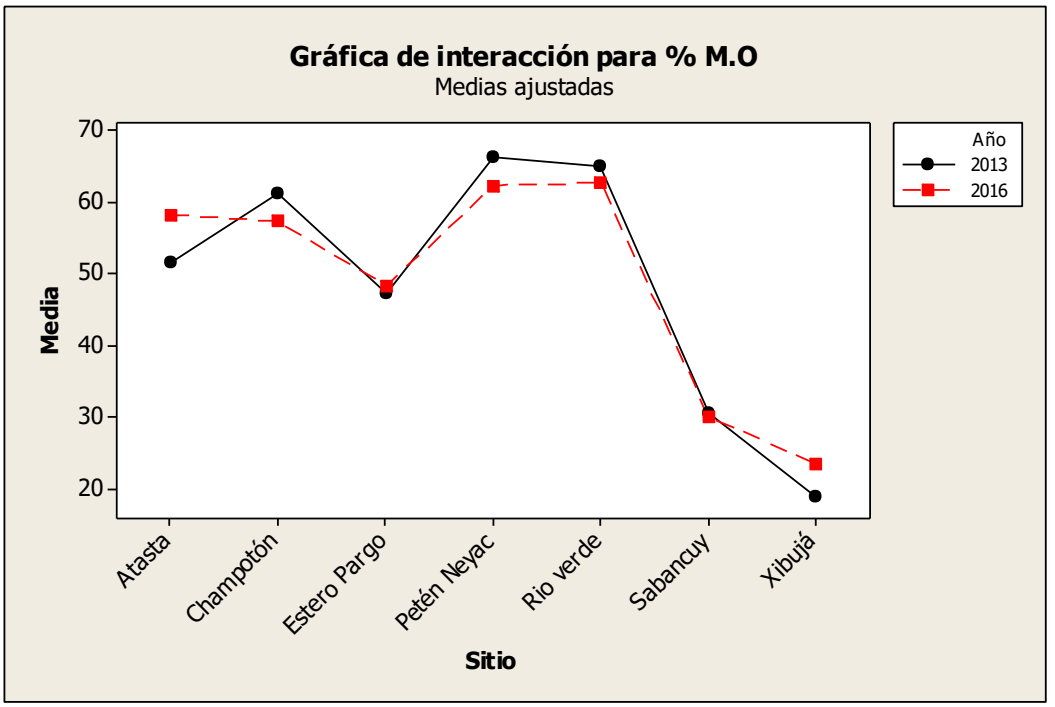

Figura 65. Gráfica de interacción para el procentaje de materia orgánica en sedimentos, durante el 2013 y 2016 en los siente sitios de estudio.

Tabla 25. ANOVA de dos vías de parámetros en sedimento durante el período de noviembre de 2013 a noviembre de 2016, en los sitios que bordean el litoral de Campeche (NS, no significativo; *p<0.05, ** p<0.0001).

Factor	gl	Densidad ($g.cm^3$)		Materia orgánica (%)		Fósforo total (%)		Nitrógeno total (%)	
		F	p	F	p	F	P	F	p
A:Años	1	185.8	0.0001**	0.02	0.902NS	415.92	0.0001**	207.17	0.0001**
B:Sitio	6	68.16	0.0001**	55.96	0.0001**	22.81	0.0001**	35.25	0.0001**
Año x sitio	6	17.06	0.0001**	60.65	0.689	8.73	0.0001**	9.14	0.0001**
Error	262								
Total	275								

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

6.1. Análisis de componentes principales entre los años 2014 y 2015

Con la finalidad de establecer en general los principales factores ambientales que determinan en los atributos forestales de los bosques de mangle que bordean el litoral del estado de Campeche, se aplicó un análisis multivariado de componentes principales. Donde se establece para el año 2014, que el potencial redox y el pH son los factores determinantes del área basal y altura que presentan los bosques que se distribuyen a lo largo del litoral de Campeche en el borde e internos. En el caso del factor que determina la densidad de los bosques en estudio, se establece que la temperatura y la salinidad resultan ser concluyentes.

A continuación, se decribe las ecuaciones resultantes del análisis aplicado:

ACP1= 0.404986*Redox (mV) + 0.442945*pH - 0.148046*Temperatura (°C) - 0.390564*UPS + **0.443968*AB (m^2/ha)** - 0.274037*Densidad (ind/ha) + **0.43946*Altura media (m)**.

ACP2= -0.067*Redox (mV) **+ 0.003*pH – 0.727*Temperatura (ºC) - 0.358*UPS** - 0.224*AB (m^2/ha) **+ 0.535*Densidad (ind/ha)** + 0.055*Altura media (m).

Con base a los resultados obtenidos del análisis de los componentes principales, se estable un análisis multivariado de agrupación (AMVA). Esto basado en un dendrogramas que define entre localidades en estudio con la similitud entre estas, con respecto a las caracteristicas biológicas y fisicoquímicas del agua intersticial del año 2014, para establecer los factores determinantes por localidad. Puesto que los resultados de este estudio definen heterogeneidad en las condicionea ambientales entre el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Champotón y la Reserva de la Biosfera los Petenes. Ante lo expuesto y con base a los resultados obtenidos del análisis AMVA, se establecen cuatro grupos para el año 2014: 1) Peten Neyac y Río Verde, 2) Estero Pargo, Xibuja y Sabancuy, 3) Champotón y 4) Atasta (**Fig. 66**).

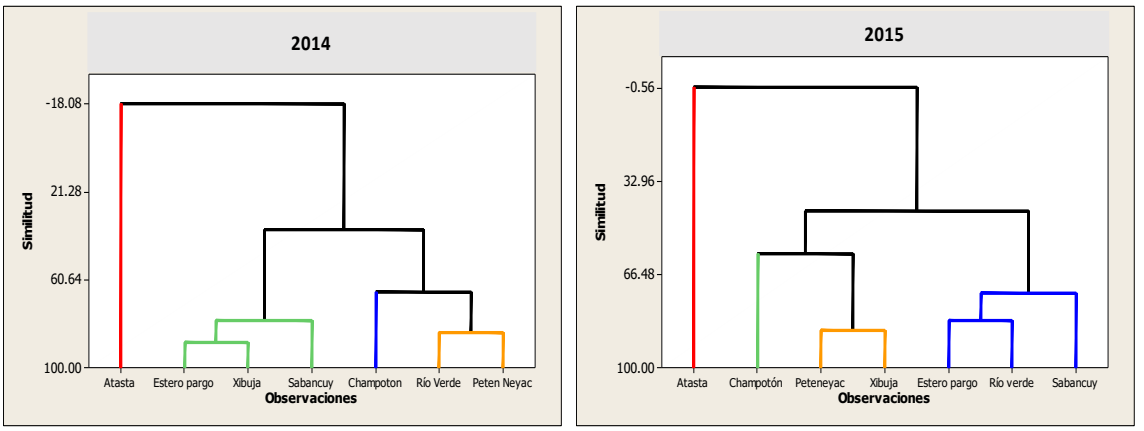

Figura 66. Subregiones de los bosques de mangle que bordean la línea costera y a través de perfiles de vegetación en el estado de Campeche, con base a la estructura forestal, características fisicoquímicas del agua intersticial (salinidad, potencial redox, pH y temperatura) durante los años 2014 y 2015.

Dónde:

a) **LOCALIDAD RESERVA DE LA BIOSFERA LOS PETENES en Río Verde y Peten Neyac:** Se establece que las tres variables fisicoquímicas que definen a los parámetros biológicos son la salinidad (0.439) con respecto al área basal y altura media (-0.482 y -0.491) y pH y temperatura (0.714 y -0.657) referido a la densidad del bosque (0.075).

b) **LOCALIDAD CHAMPOTÓN:** Se define que la concentración de la salinidad es el factor determinante para la densidad de los bosques de mangle (-0.484 y -0.508).

c) **REGIÓN LAGUNA DE TÉRMINOS en Sabancuy, Xibujá, Estero Pargo:** Se determina que la concentración de la salinidad define la altura de los árboles, en los bosques de mangle que bordean los sitios en estudio de este apartado (-0.494 y -0.536). Así mismo, la temperatura es un factor que establece la densidad de los bosques (-0.222 y 0.652).

d) **LOCALIDAD LAGUNA DE TÉRMINOS en Atasta:** Establece que el pH y la temperatura presenta una relación inversa (0.338 y 0.263) entre la densidad del bosque (-0.522).

Se establece que la variación de la salinidad, potencial redox, pH y temperatura del agua intersticial a su vez se presenta entre los sitios, franjas y épocas del año del 2014 al 2016

diferencias en los bosques de mangle que bordea el litoral del estado de Campeche. Esto mediante análisis de varianza de 3 vías (**Tabla 27**).

Tabla 26. Valores de F y nivel de significancia (NS, no significativo; *p<0.1; **p<0.05, *** p<0.001) del ANOVA de tres vías en los efectos de localidad (A), franja (B), época del año (C) en parámetros fisicoquímicos de las localidades del estado de Campeche.

Factor	**Variables**			
	Salinidad (UPS)	**Potencial Redox (mV)**	**pH**	**Temperatura (ºC)**
A:Localidad	366.80***	22.39***	5.07***	5.80*
B:Franja	424.05***	33.87***	0.04 NS	0.04 NS
C:Epoca del año	12.79***	2.78*	8.66***	75.25***
A X B	61.67***	15.11***	1.23 NS	1.19 NS
A X C	1.59*	0.48 NS	0.70 NS	1.21 NS
B X C	0.47NS	0.39 NS	0.01NS	0.18 NS
A X B X C	0.72 NS	0.24 NS	0.18 NS	0.07 NS

Se aplicó un análisis multifactorial clásico con rotación de varimáx (AMCV), con la información generada de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial en los años 2014 y 2015, con los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial de los bosques de mangle; estableciéndose una acumulación del 62.4 y 67 % respectivamente, de la varianza total de los primeros 2 factores a los que responde de manera directa los manglares ubicados a lo largo del litoral del estado de Campeche. Definiendose como factores determinantes el potencial redox y de manera inversa la salinidad para ambos años en estudio, posteriormente la temperatural del agua intersticial.

<u>Año 2014:</u>

F1 (38%) = **0.879*Redox** + 0.428*pH + 0.038*Temperatura **-0.796*Salinidad**

F2 (24%) = 0.007*Redox + 0.594*pH **- 0.916*Temperatura** -0.184*Salinidad

<u>Año 2015:</u>

F1 (36.7 %) = **0.718532*Redox** + 0.111663*pH + 0.0930898*Temperatura - **0.900475*Salinidad**

F2 (30.3 %) = 0.4853*Redox **- 0.8663*pH + 0.55898*Temperatura** + 0.19063*Salinidad

Por otra parte, se estable un análisis multivariado de agrupación (AMVA), basado en un dendrogramas que define entre localidades en estudio, la similitud entre estas, con respecto a las caracteristicas biológicas y fisicoquímicas del agua intersticial del año 2015. Esto con la fincalidad de establecer los factores determinantes por localidad. Puesto que los resultados en el año 2015 registraron cambios en la química del agua intersticial en el Área de Protección de Flora y Fauna laguna de Términos, Champotón y la Reserva de la Biosfera los Petenes, con respecto al 2014. Ante lo expuesto y con base a los resultados obtenidos del análisis AMVA, reflejo esto se establecen cuatro grupos diferencias en el 2015, con respecto al 2014: 1) Atasta, 2) Champotóno, 3) Peten Neyac y Xibuja, 4) Estero Pargo, Río Verde y Sabancuy.

Año 2016:

Así mismo durante le año 2016 el análisis multifactorial clásico con rotación varimáx (AMCV). Aplicado a los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial establece diferente factor determinante de acuerdo a los sitios de estudio como en años anteriores (2014 y 2015); de esta manera, encontramos que:

a) **LOCALIDAD RESERVA DE LA BIOSFERA LOS PETENES en Río Verde y Peten Neyac:** Se establece que la interacción de la precipitación, salinidad y pH son factores determinantes de los dos humedales en estudio.

F1 (32.4%)= 0.5234*Redox - 0.0882*pH + 0.6655*Temperatura – 0.5658*Salinidad + **0. 7604*Precipitación**

F2 (56.9%)= 0.0866*Redox – **0.8177*pH** + 0.4725*Temperatura + 0.5447*Salinidad – 0.1627

b) **LOCALIDAD CHAMPOTÓN:** La interaación de la precipitación y salinidad determinan las condiciones ambientales del humedal.

F1 (36%)=0.4973*Redox + 0.4033*pH + 0.8406*Temperatura – 0.0436*Salinidad + **0.8495*Precipitación**

F2 (59%)= 0.5826*Redox – 0.1196*pH -0.1323*Temperatura + **0.8778*Salinidad** – 0.1082*Precipitación

c) **REGIÓN LAGUNA DE TÉRMINOS en Sabancuy, Xibujá, Estero Pargo:** Se establece que el pH, redox y salinidad definen las condiciones ambientales de los sitios en estudio.

F1 (27%)= **0.6536*Redox** – **0.7510*pH** + 0.4809*Temperatura + 0.1981*Salinidad + 0.2979*Precipitación

F2 (49.2%)= 0.0088*Redox + 0.1102*pH + 0.1598*Temperatura – **0.7951*Salinidad** + **0.6642*Precipitación**

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

VII. REFERENCIAS

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.

Agraz Hernández, C.M y F. J. Flores-Verdugo. 2005. Diagnóstico del impacto y lineamientos básicos para los programas de mitigación y manejo de humedales costeros, p. 597-608. *In:* A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Golden Bouch y C. M. 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.

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.

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., C. García-Zaragoza., J. Osti-Sáenz., C. Chan-Keb. 2009. Caracterización de los manglares en los estados de Campeche y Quintana Roo, México. Jaina. Boletin Informativo. Vol-.20 (2). Agosto a Diciembre 2009. ISSN 0188-4700.

Agraz-Hernández, C.M., C.A. Chan-Keb., S. Iriarte-Vivar., G. Posada-Vanegas., B.E. Vega-Serratos., J. Osti-Sáenz. 2014. Phenological variation of *Rhizophora mangle* L. and ground water chemistry associated to changes of the precipitation. Hidrobiológica. (en prensa).

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.

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 Methds. Pp. 114-130. UNESCO, País.

Brady y Weil (1999)

Brady, N.C. y R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. 9ª ed. Prentice-Hall. EUA. 881 pp.

Chan-Keb, C.A. 2010. Efectos de la salinidad estuarina sobre la remoción de los nutrientes en Plántulas de Rhizophora mangle bajo condiciones experimentales. Tesis de maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 52p.

Chen, L., Q. Zan, M. Li, J. Shen & W Lia W. 2010. LItter dynamic and forests structure of the introduced Sonneratia caseolaris

Cintrón, G. y Y. Schaeffer-Novelli. 1983. Introducción a la ecología del manglar. ROSTLAC/UNESCO. Montevideo (Uruguay). 109 p.

Day Jr. W.H. Conner, R. Ley Lou, R.H. Day &A. Machado Navarro. 1987. The productivity and composition of mangrove forests. Laguna de Términos, Mexico. Aquatica Botany 27 (3):267-284.

Day J. R. 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.

De la Lanza Espino G.C.; Cáceres Martínez. 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autonóma de Baja California Sur. 371-425 p.

De la Lanza, E. G., M. Rodriguez, L. Soto. 1991. Análisis ecológico de los productores primarios en la Laguna de Términos, Campeche, México. Universidad y Ciencia, 8 (15): 15-25. EPOMEX. 1993. Informe final de la propuesta como área de protección de flora y fauna silvestre. Laguna de Términos, Campeche. 3 tomos.

Ellison, J.C. 2000. How South Pacific mangroves may rsepond to precited climate change and sea levelrise. Chapter 5. In: Gillespie, A. & W. Burns (Eds.). Climate change in the South Pacific: Impacts and Rsponses in Australia, New Zealand and Small Islands States. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 289-301.

Félix Pico E.F., O. E. Olguin Quiñones, A. Hernández Herrera, F. Flores Verdugo. 2006. Producción primaria d elos manglares del Estero El Conchalito en Bahía de la Paz (Bahia California Sur, México). Cienicas Marinas, Universidad Autonóma de Baja California, Ensenada, México. 32(1A):53-63.

Field, C.D. 1995. Impacts of expected climate change on mangroves. Hidrobiologia 295 (1-3): 75-81.

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 hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales. Número 80. Sociedad Botánica Mexicana. 33-48 pág.

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 dinamics. 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.

García-Zaragoza, C. 2007. Productividad y composición en dos ecosistemas de manglar en el litoral del Golfo de México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Campeche. 90 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.

Jackson M.L. 1970. Análisis Químico de suelos 2ª. Edición; Ed. Omega. Barcelona España. 450 Pág.

Jiménez, J.A. 1994. A hypothesis to explain the reduced distribution of the mangrove *Pelliciera rhizophorae* Tr. & P1. 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, H e i d e l b e rg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo, 292 p.

Lara-Domínguez, A. L., A. Yáñez-Arancibia. 1999. Prouctividad secundaria, utilización del hábitat y estructura trófica, p. 153-166. In: Yañez-Arancibia., A. L. Lara-Domínguez

(eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología, A. C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Siver Spring MD USA. 380 P.

Ley-Lou, F. 1985. Aquatic primary productivity nutrient chemestry and oyster community metabolism in a mangrove bordered tidal channel, Laguna de Terminos, Mexico. M.Sc.Thesis. Louisiana State University. 59 p

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. 1989a. Response of three mangroves to salinity in two geoforms. Functional Ecology 3:355-61.

Lugo, A. E., S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics. 5;39-69.

Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2000. Wetlands. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.

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. Mclvor, 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.

Rivera Monroy V.H., J. W. Day., R.R. Twilley., F.Vera-Herrera., C. Coronado-Molina. 1995. Flux of nitrogen and sediment in a fringsmangrove forest in Terminos Lagoon, Mexico.Estuaries, Coastal and Shelf Science, 40: 139-160

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. Kalavti, P. Chandramohan. 2002. Mangrove floristic and zonation patterns of Coringa, Kakinada Bay, east coast of India. Wetlands Ecology and Management, 10:25-39.

Schaeffer-Novelli, Y. Los manglares de la costa brasileña: Revisión preliminar de la literatura y II. Los manglares de Santa Catarina. 1981. Informe Técnico preparado para la Oficina Reional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y la Universidad Federal de Santa Catarina. Edición y revisión electrónica: Guilherme Moraes de Oliveira Abuchahla. 47 p.

Schaeffer-Novelli, Y.1983. Introducción a la ecología del manglar. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología UNESCO para América Latina y el Caribe. ROSTLAC. Montevideo. 109 p.

Smith III, T. J., M. B. Robblee., H. R. Wanles and T. W. Doyle. 1994. Assessment of Hurricane Andrew suggests an interaction across two differing scales of disturbance. BioScience 44:256262.

Suprayogi y Murray, B., Murray F. 1999. A field experiment of the physical and chemical effects of two oils on mangroves Environm. Exp. Bot. 42:221-229.

Toledo-Ocampo, A. 2007. “Marco conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México”, p. 25-52. In: A.V. Botello., J. Rendon-von Osten., G. Gold-Bouchot., C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da. Edición. UAC, UNAM, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Tomlinson, P.B. 1986. The botany of mangroves. Cambridge University Press. Cambridge. 413 p.

Travieso-Bello, A. C., P. Moreno-Casasola., A. Campos. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. Interciencia 30:12-18

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.

Twilley, R.R. 1998. Mangrove wetlands. In: Messina, M.G.,W.H. Conner (eds). Southern Forested Wetlands. Ecology and Management. Lewis 34. Estructura y productividad de los manglares. Zaldívar et al. Publishers. Boca Raton, Florida. p:445-473.

Valdez Hernández, J.I. 2002. Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. Madera y Bosques Número especial 1: 129-145.

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.

Yáñez-Arancibia, A., J.W. Day, Jr., 1982. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico, p. 431-440. *In:* P. Lasserre and H. Postma (Eds.) Coastal Lagoons. Oceanologica Acta, Vol. Spec.,5 (4): 462 p

Yañez-Correa, Amado, 1963. Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la laguna de Términos, Campeche, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología. Bol. 67, pt 1,47 p

Zaldivar, A., J.A. Herrera-Silveira., C.M. Coronado., D. Alonso. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, Yucatán (SE. México). Maderas y Bosques 2:25-35.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).

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.

Este documento debe citarse:
Agraz-Hernández C.M.., J. Osti Sáenz, C. Keb-Chan, K.P. Conde-Medina, G. Kumul-Martínez, G. Martínez, J. Reyes-Castellanos, C. Herrera-May, A. Martínez. 2015. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Instituto EPOMEX-UAC/CONABIO, KN001. Informe de avances (septiembre de 2013 a octubre de 2014).