

Informe final* del Proyecto KN003
Red Multi-Institucional. Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano. Segunda etapa*

Responsable:	Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira
Institución:	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida Ecosistemas Costeros de la Península de Yucatán Departamento de Recursos del Mar.
Dirección:	Carretera Antigua a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yuc, 97310, México
Correo electrónico:	jorge.herrera@cinvestav.mx
Teléfono/Fax:	Tel: (999) 942 9462 Fax: (999) 9812334
Fecha de inicio:	Agosto 29, 2014.
Fecha de término:	Noviembre 16, 2018
Principales resultados:	Hojas de cálculo, informe final.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Herrera-Silveira J.A., Teutli-Hernández C., Cinco-Castro S., Ramirez-Ramirez J., Carrillo Baeza L., Pech Poot E., Pérez Martínez O., Zenteno Díaz K., Erosa Angulo J., Us Balam H., Solís Gamboa S., Hernández-Arana H. y H. López-Adame. 2018. Red Multi-institucional. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Península de Yucatán. Segunda Etapa. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Ecosistemas Costeros de la Península de Yucatán. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No.KN003. Ciudad de México.

Resumen:

En estados como Yucatán y Quintana Roo, muchas de las actividades productivas en la costa como el turismo, la pesca, y el desarrollo portuario han dependido de forma directa o indirecta de los servicios ambientales de los manglares. Los manglares representan la vegetación costera dominante en las regiones tropicales y subtropicales. Para mantener estos servicios ecológicos de los manglares en las regiones costeras tropicales y subtropicales es necesario promover su conservación a través de programas de monitoreo y manejo que proporcionen información de calidad para tomadores de decisión y para la sociedad civil en general. Se propone dar continuidad al proyecto de monitoreo de humedales de manglar en localidades de los estados de Yucatán y Quintana Roo, que cuentan con un programa de monitoreo, y sustituir algunas de ellas, en las que se implementará un programa de monitoreo similar a las otras localidades. El proyecto se enmarca en una estrategia de escalas temporales y espaciales amplias para llevar a cabo una comparación de las variaciones de características ambientales y funcionales de los manglares en respuesta a diferentes escenarios ambientales. Esta estrategia permite definir y establecer variables críticas para el diagnóstico y seguimiento de los manglares en la Península de Yucatán con miras a contar con modelos predictivos para una mejor comprensión acerca del funcionamiento, capacidad de resistencia, resiliencia y vulnerabilidad 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.



Red Multi-Institucional. Programa Regional Para La Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Península De Yucatán. Segunda Etapa.

**Informe Final
Noviembre 2017**

Participantes:

Dr. Jorge A. Herrera Silveira (Coordinador).
M. en C. Claudia Teutli Hernández.
M. en C. SiuLing Cinco Castro
Biól. Javier Ramírez Ramírez.
Biól. Laura Carrillo Baeza.
Biól. Eunice Pech Poot.
Biól. Oscar Pérez Martínez.
P. Biól. Karla Zenteno Díaz.
P. Biól. Judith Erosa Angulo.
P. Biól. Heimi Us Balam.
P. IA. Sergio Solís Gamboa.
Dr. Héctor Hernández Arana.
Biól. Haydée López-Adame.

Este documento debe citarse:

Herrera-Silveira J.A., Teutli-Hernández C., Cinco-Castro S., Ramirez-Ramirez J., Carrillo Baeza L., Pech Poot E., Pérez Martínez O., Zenteno Díaz K., Erosa Angulo J., Us Balam H., Solís Gamboa S., Hernández-Arana H. y H. López-Adame. 2017. Red Multi-institucional. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Península de Yucatán. Segunda Etapa. CINVESTAV-ECOPEY/CONABIO, FB1728/KN003/14. Informe Final, noviembre 2017.

CONTENIDO

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	4
II. INTRODUCCIÓN.....	6
III. ANTECEDENTES.....	8
IV. JUSTIFICACIÓN.....	13
V. OBJETIVO GENERAL.....	15
VI. OBJETIVOS PARTICULARES.....	15
VII. AREA GEOGRÁFICA: Península de Yucatán.....	16
1. CELESTUN.....	17
2. SISAL.....	18
3. PROGRESO.....	18
4. DZILAM.....	19
5. RIO LAGARTOS.....	20
6. NICHUPTÉ.....	21
7. PUERTO MORELOS.....	22
8. MAHAHUAL.....	22
9. CHETUMAL.....	23
VIII. MÉTODOS.....	25
A) FASE DE CARACTERIZACIÓN.....	26
1. Biogeoquímica: densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total.....	26
2. Características del agua: salinidad, pH y Redox.....	27
3. Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles.....	27
B) FASE DE MONITOREO.....	30
1. Clima.....	30
2. Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo Total.....	30
3. Características del agua: salinidad, pH y Redox.....	30
4. Hidroperíodo: Nivel, frecuencia y duración de inundación.....	30
5. Ecología: Productividad de hojarasca, raíces finas y troncos.....	32
IX. RESULTADOS.....	34

A)	FASE DE CARACTERIZACIÓN	34
	Caracterización inicial	34
1.	Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total	34
2.	Características del agua: salinidad, pH y Redox	47
3.	Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles.....	61
	Estructura de árboles adultos	61
	Regeneración	71
	Comparación entre caracterización inicial y final	78
1.	Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total	78
2.	Características del agua: salinidad, pH y Redox	94
3.	Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles.....	107
	Estructura de árboles adultos.....	107
	Regeneración	115
B)	FASE DE MONITOREO	122
1.	Clima	122
2.	Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total	129
3.	Características del agua: Salinidad, pH y Redox.....	149
4.	Hidroperiodo: Nivel, frecuencia y duración de inundación	170
5.	Ecología: Productividad de hojarasca, raíces finas y troncos.....	183
X.	RESUMEN FINAL DE VARIABLES.....	218
1.	Clima	218
2.	Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total	220
3.	Características del agua: Salinidad, Ph y Redox	223
4.	Hidroperiodo: Nivel, frecuencia y duración de inundación	226
5.	Ecología: Estructura y productividad	228
XI.	CONSIDERACIONES FINALES.....	236
XII.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	237
1.	Caracterización.....	237
2.	Monitoreo.....	240
XIII.	REFERENCIAS	243

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

- AVANCES DEL PROYECTO

En las primeras etapas del proyecto se colocaron los dispositivos requeridos para la fase de monitoreo (hidroperíodo y productividad), en las siguientes etapas se realizaron los muestreos de variables ambientales (hidrología, sedimentos) y ecológicas (estructura y productividad) en cada uno de los sitios, se llevaron a cabo las mediciones *in situ* y se procesaron las muestras y datos pertinentes. Se continuó con el monitoreo de las variables mencionadas en tiempo y forma, y se reportan en este informe los datos obtenidos de manera mensual, por temporada o semestral dependiendo de la variable para cada uno de los sitios establecidos. Finalmente, se realizó la caracterización que corresponde al último año del proyecto, cuyos resultados también se incluyen en este informe final.

- LOGRO DE METAS

Se ha cumplido con las metas establecidas en cada una de las etapas. La base de datos con información de caracterización ambiental y ecológica de los manglares en las localidades comprometidas de la península de Yucatán se ha ampliado conforme se ha obtenido información de las variables monitoreadas en diferentes intervalos de tiempo. Todos los dispositivos necesarios han funcionado.

- LOGRO DE OBJETIVOS

Se realizaron colectas de manera continua, al mismo tiempo que se procesaron las muestras correspondientes y se analizaron los datos derivados del monitoreo de las variables ambientales y ecológicas de los sitios de manglar en la península de Yucatán. Se completó la caracterización de variables ambientales y ecológicas

correspondiente al último año del proyecto (2017), excepto en Puerto Morelos (Anexo 1).

- **MODIFICACIONES EN LA ETAPA**

Los objetivos para la etapa final se encuentran cubiertos en su totalidad. Se ha completado información restante para concluir con los objetivos acordados. Tanto el monitoreo como la caracterización se encuentran completos.

- **PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA ETAPA**

- Se completó la base de datos final de las variables de productividad (hojarasca, raíces y troncos) de las nueve localidades de manglar en la península de Yucatán.
- Se completó la base de datos final de variables ambientales (hidrología y sedimentos) monitoreadas en las localidades de manglar de la península de Yucatán.
- Se completó el archivo fotográfico de las actividades de caracterización y monitoreo llevadas a cabo en las localidades de manglar de la península de Yucatán.
- Informe final que incluye resultados de las fases de caracterización inicial (2015) y final (2017), así como del monitoreo (a diferentes escalas de tiempo) de los sitios con base en las campañas de muestreo, análisis de laboratorio y análisis de datos.

II. INTRODUCCIÓN

Los bosques de manglar son humedales que se desarrollan en zonas intermareales a lo largo de las costas tropicales y subtropicales. Estos ecosistemas están dominados por árboles tolerantes a la inundación y a la salinidad, crecen en ambientes caracterizados por ser fuertemente influenciados por mareas, descargas de ríos, disponibilidad de luz y clima. Los factores geofísicos y procesos ecológicos y geomorfológicos controlan la estructura y función de los bosques de manglar. La interacción de los contrastes ambientales sobre los procesos ecológicos incluye gradientes reguladores, gradientes de recursos e hidroperíodo sobre el crecimiento del manglar (Twilley, 1995; Twilley y Rivera-Monroy, 2005).

Dado que los manglares tienen una limitada capacidad reproductiva vegetativa, estos dependen del éxito del establecimiento y sobrevivencia de plántulas para la regeneración y desarrollo de los bosques. La investigación sobre los mecanismos y procesos que expliquen patrones de distribución y abundancia de organismos es un constante esfuerzo de la ecología, y en los manglares no es la excepción, ya que además se reconoce que estos ecosistemas están entre los más productivos del mundo, esto a pesar de su relativa simplicidad estructural, ya que son pocas las especies de árboles adaptadas a la zona intermareal tropical (Lugo y Snedaker, 1974; Twilley, 1988).

Los factores y procesos que explican los patrones espaciales y temporales en los bosques de manglar son complejos debido al juego de interacciones que se pueden dar entre diferentes variables ambientales simultáneamente (Smith III, 1992; Twilley, 1995). Se reconoce, en términos generales, que los patrones espaciales y temporales de los manglares y otros humedales costeros son el resultado de la interacción entre variables de vegetación, sedimentos, aguas superficiales y atmosféricas (Woodroffe, 1992; Twilley, 1995). Así mismo, la continuidad e interacción de ambientes contrastantes favorece la presencia de gradientes

reguladores, gradientes de recursos e hidroperíodo, los cuales tienen un fuerte efecto en el crecimiento del manglar (Twilley y Rivera-Monroy, 2005).

En los manglares la estructura y función están fuertemente ligados, la producción de hojarasca como una medida de funcionamiento se relaciona con la estructura de la vegetación. Las distintas estructuras que dan como resultado tipos ecológicos de manglar (ribereño, franja, cuenca, chaparro, peten), son explicadas por las diferentes fuerzas funcionales como mareas, descargas de agua dulce (puntual o difusa), vientos, precipitación y los diversos escenarios geomorfológicos de los sistemas costeros (Twilley *et al.*, 1986), observándose mayores productividades en manglares tipo ribereño (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2004).

Si los patrones de estructura y función de los manglares están fuertemente ligados a gradientes que están controlados por la variabilidad ambiental, se requieren programas de monitoreo de largo plazo (>20 años) para empezar a entender como estos patrones serán modificados por los efectos del cambio climático. Estos esfuerzos de monitoreo durante largos periodos de tiempo en ecosistemas son la excepción más que la regla, sin embargo, las últimas evidencias indican que sólo a través de estudios de largo plazo que integren diferentes escalas espaciales, temporales y de organización biológica podrán aportar datos, información y conocimiento para la toma de decisiones enfocadas en propuestas de manejo adaptativo y restauración ecológica de estos ecosistemas, así como en la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático (Likens, 1989; Dahdouh-Guebas y Koedam, 2008; Lindenmayer y Likens, 2009).

III. ANTECEDENTES

En los estados de Quintana Roo y Yucatán las actividades productivas y el desarrollo económico están íntimamente relacionados con la costa. El turismo (ecoturismo y megaturismo), la pesca, acuacultura, desarrollo industrial, desarrollo urbano y transporte marítimo destacan como impulsoras de su economía, todas ellas dependientes 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. Son un tipo especial de ecosistema de interfase, ya que como humedales tienen características de ambientes terrestres y acuáticos. Su desarrollo está fuertemente determinado por los factores locales y regionales que determinan su estructura y funcionamiento y son componentes críticos de la zona costera, ya que mantienen funciones ecológicas que brindan servicios ambientales como: (1) protección de la línea de costa ante fenómenos locales como nortes, huracanes y de manera global al incremento del nivel medio del mar (Scavia *et al.*, 2002); (2) mantienen o mejoran la calidad de agua debido a su capacidad de filtración de materiales (Twilley y Rivera-Monroy, 2005); (3) constituyen un hábitat crítico para una amplia diversidad de organismos, muchos de ellos de importancia comercial, cinegética y turística (Twilley, 1998); (4) son estabilizadores del suelo y/o evitan la erosión de playas (Semeniuk, 1994); (5) son la principal fuente de carbono hacia las cadenas tróficas y por tanto sostén de las pesquerías artesanales e industriales (Twilley, 1995); y (6) juegan un papel importante como almacén y transformador de carbono en regiones costeras tropicales y subtropicales (Donato *et al.*, 2011). Para mantener y/o recuperar estos servicios ecológicos es necesario promover la conservación de los ecosistemas a través de programas de monitoreo y manejo que provean información de calidad para tomadores de decisiones y para la sociedad civil en general.

Las tendencias en el estudio de los manglares están dirigidas a las relaciones estructurales y funcionales en diferentes escalas espaciales y temporales,

destacando la conectividad con otros sistemas, la biogeoquímica de los sedimentos, su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar, el potencial de reclutamiento natural e inducido ante impactos antrópicos y eventos naturales, la restauración ecológica, y su papel en los ciclos biogeoquímicos, especialmente el del Carbono (Twilley *et al.*, 1999; Rivera-Monroy *et al.*, 2002). Estos estudios responden a la necesidad de plantear mejores estrategias de conservación y manejo frente al calentamiento global y la gran presión ejercida por el desarrollo costero.

Los estudios sobre ecología, conservación, evaluación de indicadores del manejo, restauración y evaluación de impactos causados de manera natural y/o antrópica en los manglares en la Península de Yucatán y Veracruz son escasos (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Zaldívar *et al.*, 2004; Agraz-Hernández *et al.*, 2004; Hiraes-Cota *et al.*, 2010; Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010). Esto es debido a la falta de información de lo que se conoce como **“línea de base y monitoreo de largo plazo”**, que incluye la caracterización de variables críticas de la estructura y funcionamiento de los manglares, así como de su seguimiento en el largo plazo. Sólo a través de este tipo de estudios se podrá hacer frente a los efectos de los impactos naturales y/o antrópicos, con el manejo de las variables clave que funcionan como controladoras de los procesos en los manglares. La información obtenida de estos estudios permitirá proponer acciones para que estas variables no sufran efectos significativos por las actividades o eventos que provoquen perturbaciones o, en dado caso, sugerir actividades que tengan como objetivo la recuperación de manglares degradados.

De acuerdo con lo anterior, la relevancia de este proyecto es darle continuidad al estudio que se inició durante el proyecto FN009 con la caracterización y monitoreo de variables que permitan dar seguimiento a la condición del ecosistema de manglar de la Península de Yucatán (Quintana Roo y Yucatán). Esta región del país está inmersa en un marco ambiental en el que son inminentes las perturbaciones tanto naturales como antrópicas, por lo que se requiere de información actualizada y espacialmente explícita para definir acciones de manejo específicas.

El proyecto se plantea bajo el marco de referencia dinámico, en donde los datos continuos, información y la generación de nuevo conocimiento servirá de referencia a grupos organizados e instituciones en la implementación de proyectos, programas y políticas de conservación, rehabilitación, restauración y uso sustentable de los manglares. Asimismo, el monitoreo servirá como un identificador de problemas de investigación básica que deben abordarse para generar información crítica para el manejo sustentable de los bosques de manglar, contribuyendo así al conocimiento nacional e internacional de estos ecosistemas.

Un problema al que se enfrentan los manglares en México es que, a pesar de ser el 4º país en cuanto a extensión de manglares en el mundo, se sabe muy poco de los procesos a escala regional y local que determinan su distribución, cobertura, abundancia, estructura, productividad, etc. Sin embargo, son de los ecosistemas con mayores tasas de pérdida, habiéndose reportado que en 25 años se ha reducido en un 10% la superficie de este ecosistema (Valderrama *et al.*, 2014). En este sentido, existen pocos ejemplos documentados de deforestación de manglares en México. Para el Pacífico, Ramírez-García *et al.* (1998) calcularon una pérdida de 23%, una tasa de pérdida anual (TPA) de 1.7% entre 1970 y 1993 en un manglar de 1,065 ha. Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999) reportaron una pérdida de 54% entre 1973 y 1997 en un manglar de 2,310 ha (una TPA de 3.2%). En el Golfo de México, Rodríguez-Zúñiga (2002) calculó una pérdida de 35% en el periodo de 1973-2000 en un manglar de 20,000 ha (TPA de 1.6%), Hernández-Trejo y López-Portillo (manuscrito sin publicar) estiman 24% de pérdida entre 1964 y 1994 en el manglar de la laguna de La Mancha, Veracruz (TPA de 1.4%), y Zetina-Tapia y Agraz-Hernández (manuscrito sin publicar) estiman 14% de pérdida entre 1991 y 2000 en el bosque de manglar de la Laguna de Términos, Campeche. Es muy posible que estos impactos negativos a mediano y largo plazo resulten en pérdidas económicas dada la relación estructura/función y servicios ambientales.

La pérdida de manglares por cambio de uso de suelo ha tratado de evitarse con la expedición de normas y leyes que protegen tanto a las especies de manglar como a las comunidades vegetales y al funcionamiento mismo del sistema. Esto inicia con el Reglamento de la Ley Forestal de 1998, sigue con tres normas legales (NOM-EM-001-RECNAT-1999; NOM-059-SEMARNAT-2001; NOM-022-SEMARNAT-2003) y culmina el 31 de enero de 2007 con el artículo 60 TER de la Ley General de Vida Silvestre. Sin embargo, la presión sobre los manglares es grande por lo que es necesario un esfuerzo interinstitucional para formar redes de monitoreo a largo plazo en el que diferentes instituciones participantes se comprometan a seguir una serie de variables ambientales y de respuesta en un contexto geográfico amplio, que abarque al menos áreas representativas del litoral de la República Mexicana. Esta red de monitoreo regional debe integrarse a otras redes nacionales e internacionales para compartir información crítica acerca del funcionamiento de los ecosistemas y para modelar sus respuestas a cambios naturales e inducidos por las actividades humanas.

Por lo tanto, es evidente que la velocidad a la que los bosques de manglar están siendo impactados negativamente es más alta que la velocidad con la que se genera información ecológica para promover su conservación y recuperación. El excesivo uso de áreas ocupadas por manglares, la falta de entendimiento de su función, su manejo inadecuado y las perturbaciones naturales y antrópicas tienen casi siempre un efecto negativo sobre sus propios procesos, reflejándose finalmente en el deterioro de sus funciones.

Este proyecto aporta información ecológica básica necesaria para la toma de decisiones y diseño de estrategias de acción que promuevan el desarrollo sustentable de los ecosistemas de manglar considerando las actividades turísticas, de acuacultura, pesca, conservación y restauración según sea el caso. El propósito es aumentar significativamente la eficacia de los programas de regulación de acceso, tipo e intensidad de actividades, así como de conservación y restauración ecológica.

Un componente por considerar en este tipo de estudios es que la diversidad de tipos ecológicos de manglar es resultado de la variabilidad ambiental a la que responden el hidropériodo, los estresores y los recursos, asociados estos a la geomorfología, origen del sustrato, clima e hidrología. Por lo tanto, los diseños de muestreo si bien deben incluir un mínimo de variables y datos de referencia, también deben ser adaptados y tener la flexibilidad suficiente para reflejar lo que sucede en cada tipo ecológico de manglar con la finalidad de cumplir el objetivo de capturar la variabilidad espacial y cambios en el tiempo, con un esfuerzo y uso eficiente de recursos (técnicos, humanos, económicos) para mantener el seguimiento a largo-plazo.

Poseer información de la variabilidad espacial y los cambios en el tiempo es de crucial importancia para el conocimiento del ecosistema de manglar, ya que ha sido demostrado consistentemente que las funciones y, por consiguiente, los servicios ambientales están íntimamente ligados al tipo ecológico de manglar (Adame *et al.*, 2014). En este estudio se considera que dentro de los tipos ecológicos de manglar (ribereño, cuenca, franja, chaparro, peten) existen subtipos relacionados con aspectos estructurales y de condición. Por ejemplo, se pueden observar manglares que son de franja (tipo ecológico) dominados por *Laguncularia racemosa* o *Rhizophora mangle*, pero que a su vez pueden tener baja o alta densidad y estar en un estado que va de bien conservado a degradado (condición). A estos criterios (tipo ecológico y condición) habría que añadir geomorfología, región climática y la hidrología con todos sus componentes. Con esto queremos dejar constancia que basado en el análisis de datos e información de los proyectos FN009 y KN003, se observa alta diversidad de ecosistemas de manglar no obstante su relativa baja riqueza de especies vegetales. Como ecosistema esta alta diversidad se traduce en diversidad de estructuras forestales con sus respectivos procesos y funciones, los que a su vez se traducen en diferentes tipos y magnitud de servicios ambientales. Por lo tanto, los diagnósticos y monitoreos son proyectos “hechos a la medida” de los objetivos y tipo de manglar. Sólo así se identificarán patrones que lleven a estrategias y políticas de manejo.

IV. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se pierden áreas de manglar en la Península de Yucatán (PY) como resultado de los cambios en la hidrología por la construcción de carreteras, alcantarillas, apertura y mantenimiento de bocas que conectan las ciénagas con el mar, y que con el paso de los años han producido salinización de los sedimentos y en consecuencia la muerte del manglar (Herrera-Silveira y Teutli-Hernández, 2014). También existe una importante pérdida de cobertura de manglares por el desarrollo turístico costero, el cambio del uso del suelo, los rellenos para asentamientos humanos irregulares y la tala para la construcción de viviendas y artes de pesca (Batllori *et al.*, 1999; Euan-Ávila y Witter, 2002). Adicionalmente, se tienen los eventos naturales como huracanes, tal es el caso del impacto del Huracán Isidoro en 2002 que afectó el 70% de cobertura de manglares en la zona de Dzilam (Euan-Ávila *et al.*, 2004).

De acuerdo con lo anterior, las actividades humanas en la costa y los eventos naturales han impactado al ecosistema de manglar de la PY. Estos impactos han sido enfrentados desde 1994 con esfuerzos múltiples para la conservación, restauración y uso sustentable de los manglares mediante el uso de fondos internacionales, federales y estatales. Sin embargo, la falta de información técnica sitio-específica de caracterización, condición e indicadores de estos ecosistemas y la falta de un programa de monitoreo que permita dar seguimiento a las acciones de manejo, han llevado al fracaso a muchas de las acciones de manejo emprendidas (Teutli-Hernández, 2004; Teutli-Hernández, 2014).

El mantenimiento o mejora de la salud de los manglares de la PY requiere de información de línea de base de caracterización y su actualización, así como el seguimiento de variables críticas a diferentes escalas espacio-temporales, que permitan orientar el tipo e intensidad de las actividades de los usuarios múltiples, así como las acciones y políticas de autoridades, instituciones y grupos organizados, que lleven, por un lado, hacia la conservación de aquellos manglares

que están en buen estado y, por otro, a la restauración de los que están degradados, o que con el tiempo se verán amenazados. En el mejor de los casos, el resultado sería establecer una estrategia con metas de corto, mediano y largo plazo que incluya la caracterización, el diagnóstico, la evaluación de indicadores, la integración de una base de datos y un prototipo de instrumento de seguimiento de la condición ecológica de los manglares de Yucatán.

La pertinencia de este proyecto consiste en dar continuidad a un programa de monitoreo en los manglares de la Península de Yucatán (estados de Yucatán y Quintana Roo) para evaluar el efecto que tienen las actividades antrópicas, las acciones de manejo y los eventos naturales sobre estos ecosistemas.

V. OBJETIVO GENERAL

Dar continuidad al monitoreo de variables de agua, sedimentos y ecología de nueve localidades de manglar en la Península de Yucatán, que cumplan con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo (Red Mex-LTER) y que sirvan para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas, así como contribuir a sentar las bases de una red de monitoreo de largo plazo. Todo ello, teniendo como antecedentes metodológicos la caracterización y el monitoreo del proyecto FN009 de CONABIO, en el cual han estado participando integrantes del Grupo Interdisciplinario de Manglares de la Península de Yucatán (GIMPEY) y del grupo Ecosistemas Costeros de la Península de Yucatán (ECOPEY) de la Red Mex-LTER.

VI. OBJETIVOS PARTICULARES

- Dar continuidad al programa de caracterización y monitoreo de variables hidrológicas en nueve localidades de manglar en la Península de Yucatán.

- Dar continuidad al programa de monitoreo de características de los sedimentos en nueve localidades de manglar en la Península de Yucatán.

- Dar continuidad al programa de monitoreo de las características ecológicas en nueve localidades de manglar en la Península de Yucatán.

VII. AREA GEOGRÁFICA: Península de Yucatán

El área geográfica de caracterización y monitoreo abarca desde Celestún (que incluye la zona norte del estado de Campeche), hasta la Bahía de Chetumal (Quintana Roo) (Fig. 1). En esta región geográfica se localiza un alto porcentaje de manglar (>50%) de las costas del Golfo de México y Caribe Mexicano (FAO, 2007a, 2007b).

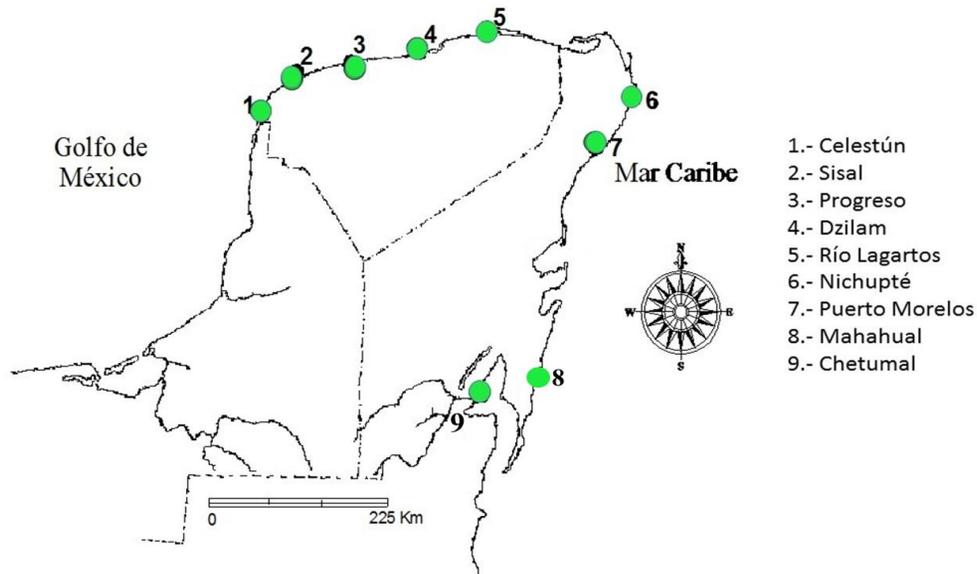


Figura 1. Ubicación de las localidades de caracterización y monitoreo de manglar en la península de Yucatán.

Las nueve localidades se encuentran distribuidas en la península de Yucatán entre los estados de Yucatán y Quintana Roo. A continuación, se describe cada una de ellas y entre paréntesis se mencionan sus respectivos sitios de estudio y las condiciones diferentes a las que se encuentran sujetos.

1. CELESTUN

(Interna, puente y boca, por su ubicación en un gradiente de salinidad)

La Reserva de la Biosfera Ría Celestún (RBRC) se localiza en el extremo noroccidental de la Península de Yucatán. Tiene una superficie de 81,482.33 ha comprendidas en los municipios de Celestún y Maxcanú (Estado de Yucatán) y Calkiní (Estado de Campeche).

La comunicación de la laguna con el Golfo de México es a través de una boca situada en la parte sur de la misma, con un ancho de 0.46 km presenta un canal de marea que la recorre a todo lo largo, el cual posee las máximas profundidades de la laguna y que van disminuyendo hacia la zona interna.

Por su comunicación permanente con el mar a través de la boca y por el aporte de agua dulce en forma de manantiales, el sistema lagunar se caracteriza por tener un gradiente de salinidad que determina tres zonas: zona de la boca, zona de mezcla en la parte media (puente) y zona interna.

La vegetación que bordea a la laguna corresponde a manglar dominado por *Avicennia germinans* (mangle negro) en la zona de la boca, *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *A. germinans* en la zona del puente, mientras que la zona interna se encuentra dominado por *Laguncularia racemosa* (mangle blanco).

Con respecto a las actividades económicas, en el área se lleva a cabo la pesca de camarón, jaiba y especies de peces de importancia comercial. Además, en el sitio se desarrollan recorridos ecoturísticos para la observación de la vegetación de manglar y de aves acuáticas entre las que destaca el flamenco rosado.

La importancia biológica de esta localidad reside en la diversidad de ambientes que presenta en un espacio relativamente reducido ya que existen manglares, petenes, vegetación de duna costera, sabana y selva baja inundable, cuya composición vegetal se considera con un excelente grado de conservación gracias a su status de Área Natural Protegida. Sin embargo, en el caso del manglar, los impactos se originan por el desarrollo urbano no controlado, la interrupción de los flujos de agua, manejo inadecuado de residuos sólidos y la extracción de madera para uso doméstico.

2. SISAL

Con descarga (Pecis I) y sin impacto de antiguas descargas de agua provenientes de la acuacultura (Pecis II).

El puerto de Sisal se localiza en la zona costera del Municipio de Hunucmá, está situado en los 21° 10' latitud norte y 90° 02' longitud oeste, pertenece a la división fisiográfica de la franja costera del Canal de Yucatán y del noreste (INEGI, 1995).

Debido a la geomorfología que presenta esta zona ha favorecido a una serie de cuerpos de agua inundables estacionalmente conocidos localmente como ciénegas. Presenta un suelo predominantemente calcáreo (regosol), con un suelo secundario órtico (solonchak), el cual posee una fase química fuertemente sódica y de textura gruesa. En general, el suelo está expuesto a constante acción erosiva del oleaje y por lo mismo, presenta una altitud máxima por debajo de los tres metros sobre el nivel del mar.

La vegetación presenta un gradiente de duna costera conformada por *Agave sisalana*, *Coccoloba uvifera*, *Thrinax radiata*, *Opuntia dillenii*, *Cereus pentagonus* a manglar representado por las cuatro especies registradas para Yucatán: *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* así como también vegetación tipo Peten, característica de la península (Rico-Gray, 1982).

Es una población de pescadores en su mayoría y donde hubo una actividad acuícola intensa (cultivo de camarón) hasta el 2006. Este sitio permitirá determinar los efectos de las descargas de aguas residuales de la granja sobre las características estructurales y funcionales del manglar. En este sentido, se considera que se encuentra en condiciones de estrés intermedio.

3. PROGRESO

(Contenedores, Chelem I y Chelem II, con alto, medio y bajo nivel de impacto antrópico e hidrológico, respectivamente)

Se encuentra ubicado en el área occidental de la Península de Yucatán a 30 km de la ciudad de Mérida en 21°17' latitud norte y 89°40' longitud oeste. Se ha determinado que en esta localidad existen cambios en la cobertura y estructura del

manglar debido a modificaciones hidrológicas y de uso del suelo aunado a que las condiciones de clima actual son las más secas de toda la región.

Es un sitio referencia de impacto urbano y actividad turística extensiva. En este sentido, el puerto de Progreso ha sido una plataforma fundamental para el crecimiento de la economía del estado, pues ha permitido el desarrollo de sectores claves como el agropecuario, la industria manufacturera y el comercio con el exterior, especialmente con Estados Unidos, Centroamérica y el Caribe, además de que es un importante elemento para el abastecimiento de combustibles de la región (Frías-Bobadilla, 2006). Es el principal puerto de cabotaje y existen pescaderías con infraestructura necesaria para procesar pescados y mariscos en especial pulpo y tiburón (INEGI, 2000).

4. DZILAM

(Elepeten y Pueblo, con impacto de huracán e influencia urbana, respectivamente)

Se localiza en el área central de la zona costera del estado de Yucatán, está situado en los 21°24´ latitud norte y 88°53´ longitud oeste. La superficie del territorio se clasifica como llanura de barrera con piso rocoso o cementado, alto y escarpado, caracterizándose el extremo norte por playas de laderas tendidas. En el margen costero se presentan manantiales de agua subterránea de dimensiones variables (0.25 a 1 m de diámetro).

Dzilam cuenta con una laguna costera permanentemente comunicada con el mar por medio de fracturas de la barra arenosa. En esta zona no se presentan corrientes superficiales de agua dulce permanentes, sin embargo, en época de lluvias se forma corrientes superficiales intermitentes que desembocan en los ecosistemas costeros. Se localiza en el complejo de sistema de corrientes subterráneas del anillo de cenotes del noreste del estado de Yucatán, lo cual significa que esta zona recibe importantes aportes de agua dulce y nutrientes inorgánicos disueltos a manera de manantiales u “ojos de agua” como se les conoce localmente. En esta zona se presenta vegetación de duna costera, petenes compuestos por manglar, selvas bajas y medianas, marismas, y comunidad de

manglar, la cual ocupa una amplia franja de 2 a 6 km de ancho a lo largo de la costa, presentando las 4 especies registradas para Yucatán: *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* (Medina y Herrera, 2003; Vázquez-Lule *et al.*, 2009)

Existe la presencia de una población de pescadores y donde la actividad ecoturística se está impulsando. Es el único sitio de la zona costera norte de la península de Yucatán que presenta verdaderos manglares de borde. Esta localidad cuenta con zonas impactadas por huracanes, pero con significativos indicios de recuperación.

5. RIO LAGARTOS

(El cuyo y Río Lagartos, con y sin influencia de actividades humanas, respectivamente)

La Reserva de la Biosfera Ría Lagartos (RBRL) se ubica en el extremo oriente de la franja litoral del estado de Yucatán, en las coordenadas extremas 21° 37' 29.56" y 21° 23' 00.96" latitud norte; 88° 14' 33.35" y 87° 30' 50.67" longitud oeste. El estero Ría Lagartos se orienta de oeste-noroeste a este-sureste. Presenta cuatro conexiones con el mar: dos son naturales, la boca de San Felipe y la boca de Chipepte, mientras que las otras dos son artificiales, el canal de San Felipe y el canal de Río Lagartos. La amplitud de la ría varía de 25 metros a 3.5 kilómetros y la longitud es de aproximadamente 74 km. El borde norte está formado por una isla de barrera resultado de la sedimentación de arena provocada por la acción marina.

Esta localidad presenta una gran diversidad de ecosistemas. Entre éstos existen diferentes coberturas vegetales como selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja (caducifolia, caducifolia espinosa e inundable), manglares, matorral de dunas costeras, pastizales inundables y pastos marinos (CONANP, 2007). También encontramos unas formaciones características de las zonas costeras de la Península de Yucatán denominadas petenes. La distribución del manglar en la ría está segmentada y se asocia con otros ecosistemas como el tular-pastizal-carrizal, con selva baja caducifolia inundable, vegetación de duna costera y

petenes. Las interacciones entre el manglar y estos sistemas promueven el incremento en la diversidad de plantas y animales (Andrade, 1997). Las especies más comunes son *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Sesuvium portulacastrum*, *Salicornia virginica*, *Batis maritima* y *Picus tecolotensis*, aunque menos abundante, también se presenta el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) (Campos y Durán, 1991).

Históricamente, la tala de vegetación nativa es una práctica común. Así, la pérdida de cobertura vegetal ha afectado a manglares, duna costera y selvas. En gran medida, las causas han sido el crecimiento urbano de los poblados más grandes (San Felipe y Río Lagartos) y el cambio de uso de suelo de selvas a ganadería, la cual es precedida por la roza, tumba y quema (Carranza y Molina, 2003).

6. NICHUPTÉ

(Polígono 9 y Polígono 1, zona de recuperación y zona de manglar chaparro, respectivamente)

Está localizado al norte del estado de Quintana Roo, en el municipio de Benito Juárez, a 36 km de Cancún, el cual es considerado el puerto turístico más importante de Caribe Mexicano (SEMARNAT-Gob. Quintana Roo, 2005). Se caracteriza por presentar un relieve muy escaso y por la ausencia de ríos superficiales, el suelo está constituido principalmente por piedra caliza. Al ser una barrera arrecifal presenta poca profundidad formando así una laguna arrecifal, por lo que las playas son de muy poco oleaje, la profundidad de la laguna oscila entre los 2 y 8 metros, en el fondo hay presencia de pastos marinos, permitiendo la presencia de una gran diversidad de fauna marina (Lesser y Weidie, 1988).

La vegetación en el Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Nichupté está conformada principalmente por humedales y sólo existen porciones reducidas de vegetación propia de ambientes libres de inundación. Debido a una mala planeación urbana y hotelera ha quedado una zona de manglar en medio del desarrollo urbano-turístico de alta densidad (CONANP, 2015).

7. PUERTO MORELOS

(El CID dominado por *Conocarpus erectus* y la Ceiba por *Rhizophora mangle*)

Se localiza geográficamente en la costa nororiental del estado de Quintana Roo, en los 20°50'50.5" latitud norte y 86°52'30.6" longitud oeste, a 35 km al sur de Cancún y 34 km al norte de Playa del Carmen sobre la costa.

La zona costera se caracteriza por presentar un relieve muy escaso y por la ausencia de ríos superficiales, resultado de la naturaleza kárstica del terreno. La zona costera está delimitada hacia la parte terrestre por bermas del Pleistoceno de aproximadamente 10 m de altura, y hacia el mar por una barra arenosa de 2-3 m de altura y 100-200 m de ancho que constituye la línea de costa actual (Ruíz-Rentería *et al.*, 1998).

Puerto Morelos es un sitio que se había conservado en un buen estado, sin embargo, las modificaciones hidrológicas, los huracanes y el cambio de uso del suelo han provocado aparentemente una mala condición.

8. MAHAHUAL

(Mahahual 1, 2, 3 y 4 son manglares de tipo chaparro sujetos a impacto por huracanes y a impacto humano intermedio como construcción de carreteras)

En la Fase I del proyecto se contaba con Sian Ka'an y Xcalac como las localidades 8 y 9. Sin embargo, debido a las modificaciones de uso del suelo y a circunstancias que ponían en riesgo la seguridad e integridad física del grupo de trabajo, se solicitó realizar un cambio, autorizado por CONABIO, y se instalaron cuatro sitios en la localidad de Mahahual: dos sitios a cada lado de la carretera que permitirán determinar el efecto de este tipo de infraestructura que es común denominador de perturbación de zonas de manglar en la región PY por lo que se llevan a cabo proyecto de restauración ecológica (Herrera-Silveira *et al.*, 2013; Herrera-Silveira y Teutli-Hernández, 2014). Esta zona tiene un manglar principalmente tipo chaparro muy extenso (Cano, 2013).

Las primeras observaciones sugieren que en general se encuentra en un buen estado de conservación, pero presenta síntomas de impacto por la construcción de carreteras mal diseñadas que afectan la hidrología local, así como por el cambio de uso de suelo debido al desarrollo urbano y turístico.

Esta localidad se vio afectada por el huracán Dean que golpeó la costa con categoría 5 en la escala "Saffir Simpson" con vientos máximos de 280 km por hora. Algunas semanas después del impacto, las autoridades locales declararon dañadas más de un millón de hectáreas de áreas forestales y enormes pérdidas económicas (NOAA, 2007).

9. CHETUMAL

(Río Hondo y Tamalcab, ambos sitios dominados por *Rhizophora mangle*)

Localizado al sur del Estado de Quintana Roo, capital del Estado, es la segunda ciudad más importante con intensa actividad urbana y turística de baja intensidad. Es la única localidad de esta región que recibe aportes de ríos (Río Hondo) y cuya hidrología ha sido modificada por la ampliación del Canal de Zaragoza que contacta la Bahía con el Mar Caribe (Rosado-May *et al.*, 2002).

Se localiza en una zona plana el lado este y sureste culminan en la Bahía de Chetumal, cuya costa es baja y pedregosa, cubierta en su mayor parte por manglar, hacia el sureste se encuentra el cauce del río hondo y su desembocadura, la mayor parte de la ciudad se extiende hacia el norte y oeste, presenta una diferencia de altura a unos 200 metros de la costa, el resto es prácticamente plano, con mínimas ondulaciones formando aguadas y zonas pantanosas en la época de lluvias.

La localidad de Chetumal presenta un clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 26.4 °C, la precipitación promedio anual es de 1289.7 mm. Es una ciudad propensa a ser golpeada por huracanes, aunque su situación geográfica lo hace menos probable (INEGI, 2002).

Tabla 1. Ubicación de las 9 localidades y 22 sitios de manglar donde se realiza la caracterización o actualización y el monitoreo 2014-2017, en los estados de Yucatán y Quintana Roo. Las coordenadas proporcionadas corresponden al vértice 1 de la parcela control en todos los sitios.

ID	Localidad	Sitio	Tipo de manglar	Latitud N	Longitud W
1.1	Celestún	Zona Interna	Ribereño	20.918966	-90.340366
1.2		Zona Puente	Franja	20.859524	-90.374975
1.3		Zona Boca	Franja	20.774610	-90.406475
2.1	Sisal	Pecis I (c/descargas)	Cuenca	21.168850	-90.008222
2.2		Pecis II (ciénaga)	Cuenca	21.174140	-89.991940
3.1	Progreso	Contenedores	Sobreinundado	21.275154	-89.663933
3.2		Chelem I	Cuenca	21.257453	-89.708630
3.3		Chelem II	Cuenca	21.246661	-89.761117
4.1	Dzilam	Elepetén	Franja	21.401402	-88.826109
4.2		Pueblo	Chaparro	21.391277	-88.889108
5.1	Rio Lagartos	Rio Lagartos	Franja	21.609530	-88.127684
5.2		El Cuyo	Cuenca	21.511722	-87.677760
6.1	Nichupté	Polígono 9	Franja	21.077622	-86.788966
6.2		Polígono 1	Chaparro	21.033140	-86.837151
7.1	Puerto	Ceiba	Cuenca	20.863949	-86.870884
7.2	Morelos	CID	Chaparro	20.841594	-86.884270
8.1	Mahahual	Mahahual 1	Chaparro	18.785776	-87.747830
8.2		Mahahual 2	Chaparro	18.784944	-87.749056
8.3		Mahahual 3	Chaparro	18.969944	-87.930417
8.4		Mahahual 4	Chaparro	18.970736	-87.930381
9.1	Chetumal	Rio Hondo	Franja	18.489250	-88.314610
9.2		Tamalcab	Cuenca	18.564611	-88.227639

VIII. MÉTODOS

En seguimiento a la recomendación de la dirección de proyectos de CONABIO respecto a los términos de referencia del “Instructivo para presentar programas de monitoreo de manglares en México, 2013”, así como considerando el diseño de la primera fase, se propuso la siguiente estrategia para darle continuidad a la información con la que se cuenta para dar cumplimiento a la solicitud de CONABIO respecto al tamaño de parcela.

La caracterización y monitoreo de manglar de este proyecto se hizo mediante 2 parcelas de 20 x 20 m, con separación una de otra de aproximadamente 20 m. Dentro de cada parcela se marcó una parcela de 5 x 5 m, y dos de 1 x 1 m para las mediciones de juveniles y plántulas, respectivamente (Fig. 2).

El diseño de las parcelas que se presenta en la Figura 2 fue aplicado para cada uno de los sitios en las nueve localidades (22 sitios en total), dando un total de 44 parcelas (22 controles y 22 réplicas). En el caso de la localidad de Mahahual, las parcelas son nuevas porque son los sitios que sustituyen a los de Sian Ka’an e Xcalac.

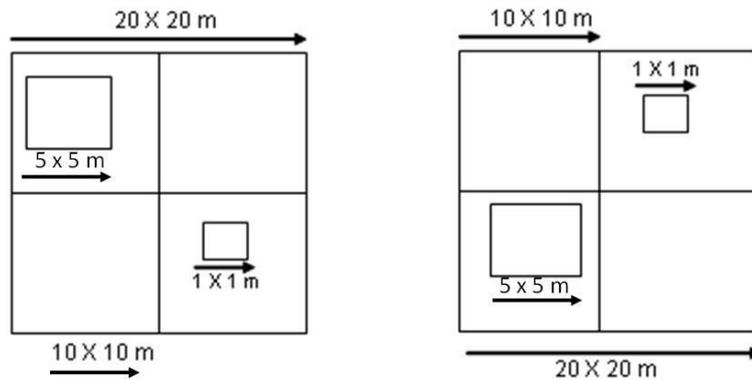


Figura 2. Forma y distribución de las parcelas ampliadas.

A) FASE DE CARACTERIZACIÓN

1. Biogeoquímica: densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total.

Para este componente que se determinará una vez por año, se han tomado muestras de 250 g de los primeros 30 cm del suelo para determinar su densidad aparente y la concentración de materia orgánica en cada una de las parcelas control y réplica. En cada una de las parcelas de monitoreo se colectó un núcleo de sedimento para los siguientes análisis en el laboratorio:

- *Densidad Aparente (DA)*: Las muestras de sedimento se dividieron en intervalos de 10 cm, retirándoles hojas, raíces o material grueso. En el laboratorio se colocaron en una estufa a 60 °C, una vez seca la muestra se pasó por un tamiz. A cada segmento de la muestra se le calculó la densidad del sedimento (Chen y Twilley, 1999). Este procedimiento se repetirá para cada uno de los sitios de manera anual.

- *Materia orgánica (MO)*: Para la estimación de materia orgánica se tomaron 2 g de sedimento de cada segmento. Se colocaron las muestras en una mufla a 550 °C durante 4 horas. Posteriormente se calculó el porcentaje de materia orgánica por diferencia de peso (Holme y MacIntyre, 1984).

Una porción de \approx 150 g de peso seco de las muestras de sedimentos se molerá y homogenizará para realizar la determinación del contenido de fósforo total por el método de Bray-1 o de Olsen, según sea el pH de la muestra, y nitrógeno total por el método de Micro-Kjeldhal o con un autoanalizador elemental.

-*Nitrógeno Total (NT)*: Para la determinación de nitrógeno total se pesaron de 20 a 30 mg en cápsulas de estaño, esta prueba se realizó por triplicado, los pesos se registraron para el cálculo de concentración, y se corrió la muestra en un autoanalizador elemental CHN (FLASH-EA-1112) (Chen y Twilley, 1999). Esta medición es anual.

-*Fósforo Total (PT)*: Para la determinación de fósforo total se siguió el método propuesto por Twilley *et al.* (2004), que consiste en la digestión de la muestra y luego su análisis como fosfato de forma colorimétrica (Parsons *et al.*, 1984). Esta medición es anual.

2. Características del agua: salinidad, pH y Redox

- *Salinidad intersticial*: En cada una de las parcelas se obtuvieron tres réplicas de agua intersticial a 30 cm de profundidad y posteriormente se realizó la lectura con una sonda multiparamétrica YSI 30.

- *pH y Redox*: La medición del potencial Redox se realizó mediante un electrodo construido con alambre de cobre de calibre 10 ó 12 y puntas de platino, y con un electrodo de referencia (Hargis y Twilley, 1994). La medición durante la caracterización se realizó estacionalmente en las localidades que cuentan con los instrumentos necesarios, y se ha medido por lo menos una vez por año (tratando de que sea en la misma estación climática) en cada sitio de cada localidad.

3. Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles

La caracterización estructural de una comunidad de manglar indica el grado de desarrollo y las condiciones ambientales en las que se encuentra. Para poder realizar este trabajo en cada una de las localidades comprometidas se usó el diseño que se explicó anteriormente, y los resultados se reportan en hectáreas o en m² según sea el caso para que los datos puedan ser comparables con la literatura nacional e internacional de manglares. En las dos parcelas de 20 x 20 m se llevó a cabo la medición de las variables estructurales sugeridas por Lugo y Snedaker (1974), Schaeffer-Novelli y Cintrón (1990) y Snedaker (1984) estas son: especie, diámetro a la altura de pecho (DAP) que se usó para calcular el área basal, densidad, altura, índice

de complejidad y otras adicionales como índice de valor de importancia y regeneración potencial (densidad de juveniles y plántulas).

Descripción de variables:

-*Especie*: Cada individuo de manglar mayor de 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho localizado dentro de las parcelas establecidas será identificado hasta el nivel de especie.

-*Diámetro a la altura de pecho (DAP)*: a partir de esta medición se calculó el área basal, además de que permite la determinación de la condición o estabilidad de la comunidad del manglar, esto por medio de la distribución de frecuencias de los diámetros de sus troncos o mejor conocido como análisis de cohorte. Se utilizó una cinta diamétrica para medir el DAP de todos los individuos mayores a 2.5 cm.

-*Área basal*: es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido. En una comunidad de manglar es la suma de las áreas basales de todos los troncos en una unidad de área expresándose en m² por hectárea (ha) para los árboles mayores o iguales a 2.5 cm de diámetro (8 cm de circunferencia).

-*Densidad*: es el número de árboles por unidad de área, se expresa en individuos (ind.) por hectárea (ha). La densidad de una comunidad de manglar es el reflejo de su edad y madurez. Los manglares en su desarrollo transitan de una etapa en la que el espacio es ocupado por un gran número de árboles de poco diámetro a otra de mayor madurez en la que existen pocos árboles, pero estos son de gran tamaño.

-*Altura*: es la distancia vertical entre la base del tronco a la punta de la copa.

-*Índice de complejidad (IC)*: Es una medida descriptiva-cuantitativa de la complejidad estructural de la vegetación tropical, el cual integra las características estructurales y

florísticas, cuantificando el grado de desarrollo de la estructura, y considera: número de especies, densidad total, área basal total y altura (Holdridge *et al.*, 1971).

-*Índice de valor de importancia (IVI)*: indica el valor de las especies respecto a todas las que están presentes en la localidad (frecuencia relativa + densidad relativa + dominancia relativa) (Cottam y Curtis, 1956).

-*Regeneración potencial*: Para este apartado se denominan como plántulas a aquellos organismos de manglar que presentaron una altura menor a 0.5 m, y juveniles a aquellas plantas que presenten una altura igual o mayor a 0.5 m, y un diámetro menor a 2.5 cm.

Para llevar a cabo la caracterización de plántulas de manglar, se establecieron en cada parcela de monitoreo, 1 sub-parcela de 5 x 5 m (para mediciones de juveniles), y dentro de estas se hicieron 2 cuadrantes de 1 x 1 m (para medición de plántulas).

Los atributos que se midieron tanto a las plántulas como a los juveniles son:

- Densidad: mediante el conteo de todos los organismos de plántulas (DP) y juveniles (DJ) dentro del área conocida de las sub-parcelas.
- Altura: la cual fue medida con una regla de 1 metro.
- Especie: se anotó la especie a la que pertenecía cada individuo registrado dentro de las parcelas: *Rhizophora mangle* (Rm), *Avicennia germinans* (Ag), *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Conocarpus erectus* (Ce).

B) FASE DE MONITOREO

Las actividades relacionadas con la fase de monitoreo realizadas se describen a continuación.

1. Clima

Para la descripción de este componente se solicitaron datos históricos (de 1961 a 2011) de las estaciones climatológicas locales para establecer las normales climatológicas mensuales de temperatura media (T°) y precipitación acumulada (PP) y construir los climogramas correspondientes para los estados de Yucatán y Quintana Roo. Adicionalmente se obtuvieron los valores mensuales de temperatura y precipitación en las localidades de muestreo durante la duración del proyecto (Tabla 2).

Tabla 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas de los sitios de estudio.

Localidad	Estación meteorológica	Grados Sexagesimales					
		Latitud			Longitud		
		Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg
Progreso	Progreso	21	16	33.00	-89	39	14.00
Ría Lagartos	Ría Lagartos	21	35	52.41	-88	9	29.34
Dzilam Bravo	Dzilam Bravo	21	23	26.00	-88	54	15.00
Sisal	Celestún	20	51	29.70	-90	22	58.48
Celestún	Celestún EHCA	20	51	29.00	-90	22	57.00
Cancún	Cancún EHCA	21	11	24.00	-86	50	12.00
Chetumal	Chetumal	18	30	14.52	-88	17	0.51
Puerto Morelos	Playa del Carmen	20	37	22.68	-87	4	38.48
Mahahual	Chetumal EHCA	18	29	49.31	-88	18	23.04

2. Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo Total.

Este componente de monitoreo, además de la caracterización inicial, se realizará una vez al año siguiendo la metodología descrita previamente.

3. Características del agua: salinidad, pH y Redox

Mensualmente se ha determinado la salinidad del agua intersticial a 30 cm de profundidad. De manera estacional (tres veces por año: secas, lluvias y nortes) se ha

determinado el pH y el potencial redox del agua intersticial a 30 cm de profundidad en tres puntos de cada una de las parcelas control y réplica.

4. Hidroperíodo: Nivel, frecuencia y duración de inundación

Para la medición de las variables del hidroperiodo (nivel, frecuencia y duración de inundación) se instalaron medidores automáticos de presión en todas las localidades que cuentan con parcelas permanentes de monitoreo. Es importante mencionar que con recursos de otros proyectos se adquirieron 10 medidores de nivel, pero desaparecieron 4 (Sisal, Rio lagartos, Progreso y Sian Ka'an) que fueron aparentemente robados. Sin embargo, con recursos del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Mérida se adquirieron más instrumentos y actualmente se tienen instalados 11 sensores, de los cuales 3 de ellos se repusieron porque pertenecían a otro proyecto relacionado con lagunas costeras. Con recursos de este proyecto se instalaron sensores en Sisal, Rio lagartos y Mahahual, se deberían tener instrumentos en los 22 sitios, pero debido a los escasos recursos económicos se seleccionaron sitios tomando como criterio su distribución en todos los tipos de manglar (Tabla 3). Cada instrumento fue instalado dentro de un tubo de PVC de 4 pulgadas el cual penetra en el sedimento entre 0.5 y 1 m, dependiendo de la consistencia del suelo. Se han realizado visitas semestrales para la colecta de datos almacenados en el dispositivo.

Tabla 3. Sitios en los que se han instalado instrumentos de medición de inundación.

ID	Localidad	Sitio	Fisionomía
1	Celestún	Zona Interna	Ribereño
2		Zona Boca	Franja
3	Sisal	Pecis II	Cuenca
4	Progreso	Contenedores	Sobreinundado
5	Dzilam	Elepetén	Franja
6	Rio Lagartos	Rio Lagartos	Franja
7	Nichupté	Polígono 9	Franja
8	Puerto Morelos	Ceiba	Cuenca
9	Mahahual	Mahahual 2	Chaparro
10	Chetumal	Rio Hondo	Franja
11		Tamalcab	Cuenca

5. Ecología: Productividad de hojarasca, raíces finas y troncos.

Para el monitoreo de la productividad de hojarasca, se encuentran instaladas 5 canastas de malla en las parcelas permanentes de cada uno de los sitios. Estas canastas están elaboradas de tela mosquitera de 1 mm de abertura de malla y se distribuyeron aleatoriamente dentro de la parcela de 10 x 10 m sujetándose una altura de 1.30 m. Algunas de ellas deben ser reemplazadas aproximadamente cada año por el deterioro del material que está sujeto a la intemperie. El material colectado es secado en una estufa a 75°C por 72 horas y posteriormente separado en los diversos componentes: hojas, flores y frutos, tallos y material misceláneo, la productividad de hojarasca es expresada en gramos de peso seco por metro cuadrado por día (g.p.s m⁻² d⁻¹). Se han realizado colectas cada mes o con la frecuencia que la logística y condiciones ambientales lo permitieron.

Para cuantificar la biomasa aportada por las raíces finas, al inicio del trabajo de campo se instalaron 6 bolsas de tela de mosquitero rellenas de sustrato inerte ("peat moss") en el suelo a una profundidad de 30 cm en cada una de las parcelas fijas en los sitios de caracterización y monitoreo. Es importante mencionar que los núcleos de sedimento que se extrajeron para colocar los costales proporcionaron la información de producción que corresponde a la biomasa presente. Posteriormente, la colecta de estos costales se realizó anualmente y las raíces obtenidas en cada bolsa se separaron del sedimento para estimar la producción de las raíces finas a diferentes intervalos de tiempo iniciando en T0 (la muestra inicial obtenida del núcleo original en 2015), T1 (2016), T2 (2017). Es importante mencionar que, al ser una vez por año, por cuestiones logísticas no todas las actividades se realizan al mismo tiempo en todas las localidades por lo que el intervalo entre los tiempos de muestreo de una misma parcela puede variar. El contenido de los costales extraídos es analizado separando las raíces vivas de muertas y posteriormente separándolas por categorías: 1(0-0.2cm), 2(0.21-0.5cm), 3(0.51-2.5cm), por último, se secaron a 75 °C por 72 horas y se pesaron.

Para el monitoreo de la productividad de troncos en las parcelas de caracterización y monitoreo de cada localidad se requieren mediciones al inicio del

proyecto y al final del mismo con la finalidad de estimar el incremento en biomasa en ese periodo de tiempo. Las mediciones iniciales ya fueron realizadas y se reportan las biomásas del almacén. Dado que el interés en las líneas de monitoreo de productividad es una característica del ecosistema, se midieron al menos 10 árboles al azar independientemente de las especies presentes en las parcelas para evaluar el incremento en biomasa de los troncos mediante la medición de DAP al inicio (primer año) y al final (tercer año) del periodo del proyecto. Este dato, además de utilizarse para calcular la productividad, permitirá calcular la tasa de crecimiento de las especies dominantes. Para la estimación de la biomasa se usarán las ecuaciones alométricas específicas para cada especie y, en algunos casos especiales, para el tipo ecológico de manglar (tipo chaparro de *R. mangle*) que se presentan en la tabla 4 (Caamal, 2012).

Tabla 4. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de los arboles con DAP ≤ 20 cm, con Y= peso seco (kg), X=DAP (cm), p= densidad de madera, D= cobertura del dosel por número de raíces y R²= porcentaje de varianza de la regresión.

Tipo de Manglar	DAP (cm)	Especie	Ecuación alométrica	R ²	Referencias
Peten, Cuenca Y Franja	0-21	<i>Avicennia germinans</i>	Log Y= -15852 + 2.3023x	97	Smith <i>et al.</i> 2006
Peten, Cuenca Y Franja	0-18	<i>Laguncularia racemosa</i>	Log Y= -1.5919 + 2.1924x	97	Smith <i>et al.</i> 2006
Peten, Cuenca Y Franja	0-20	<i>Rhizophora mangle</i>	Log Y= -15852 + 2.3023x	94	Smith <i>et al.</i> 2006
Peten, Cuenca Y Franja	10-50	Ecuación común	Y= 0.168 _p DAP ^{2.47}	99	Chave <i>et al.</i> 2005
Chaparro	0-10	<i>Rhizophora mangle</i>	Log Y= 1.2522 + 0.5083logD	96	Coronado-Molina <i>et al.</i> 2004

IX. RESULTADOS

A) FASE DE CARACTERIZACIÓN

Caracterización inicial

1. Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total

La dinámica de la materia orgánica en sedimentos está fuertemente relacionada con los aportes internos y externos a los que están sujetos los ecosistemas. En el caso de los manglares de la PY los aportes autóctonos probablemente son los que dominan dicha dinámica debido a que no existen fuentes externas de sedimento y material orgánico que puedan ser aportados al manglar. Las localidades estudiadas en la PY se localizan en una región de características cársticas donde no hay flujos de agua superficiales que puedan servir como transporte de dichos materiales. La densidad aparente de los sedimentos es una característica integradora de condiciones hidrológicas, geológicas y biológicas, por lo que puede llegar a intervenir en las características ecológicas de los manglares.

Densidad y contenido de materia orgánica

Celestún: En la localidad de Celestún, el sitio Puente cuenta con sedimentos más densos (0.369 g/cm^3) con respecto a los sitios Interna y Boca (0.223 y 0.287 g/cm^3 , respectivamente). En cuanto al contenido de materia orgánica, el sitio Interna presenta el mayor porcentaje (47.5%) con respecto a Puente (34.34%) y Boca (40.74%). Generalmente, suelos con baja densidad tienen un mayor contenido de materia orgánica (Fig. 3).

Sisal: El sitio Pecis I presenta suelo más denso (0.848 g/cm^3) con respecto a Pecis II (0.589 g/cm^3), y representa uno de los valores más altos con respecto a los demás sitios caracterizados en la PY. En cuanto al contenido de materia orgánica, Pecis II presenta 19.29%, mientras que Pecis I tiene 13.53%, valor relativamente bajo (Fig. 4).

Progreso: En la localidad de Progreso, el sitio Chelem I presenta una relación masa/volumen de sedimentos alta (0.76 g/cm^3) con respecto a Contenedores y Chelem II (0.36 y 0.29 g/cm^3). Por otra parte, Contenedores presenta mayor contenido de materia orgánica (36.72%) con respecto a Chelem I (27.13%) y Chelem II (19.82%) (Fig. 5).

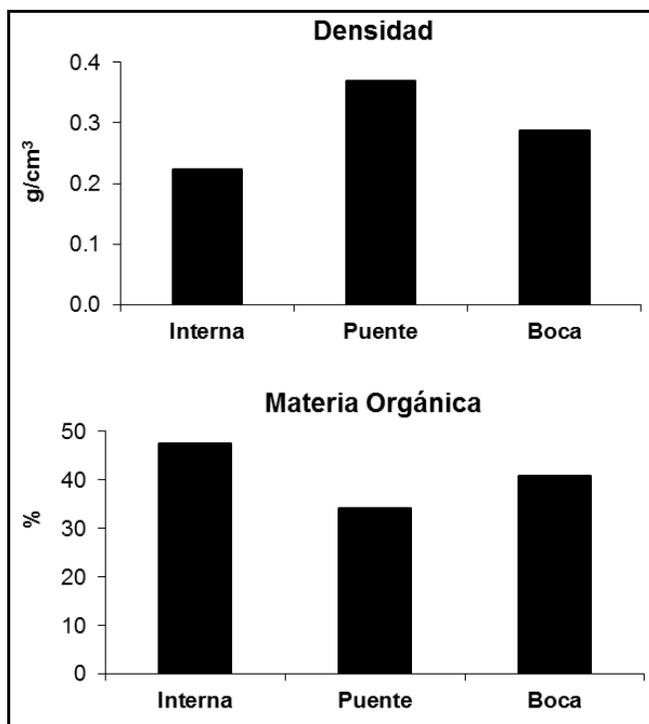


Figura 3. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Celestún.

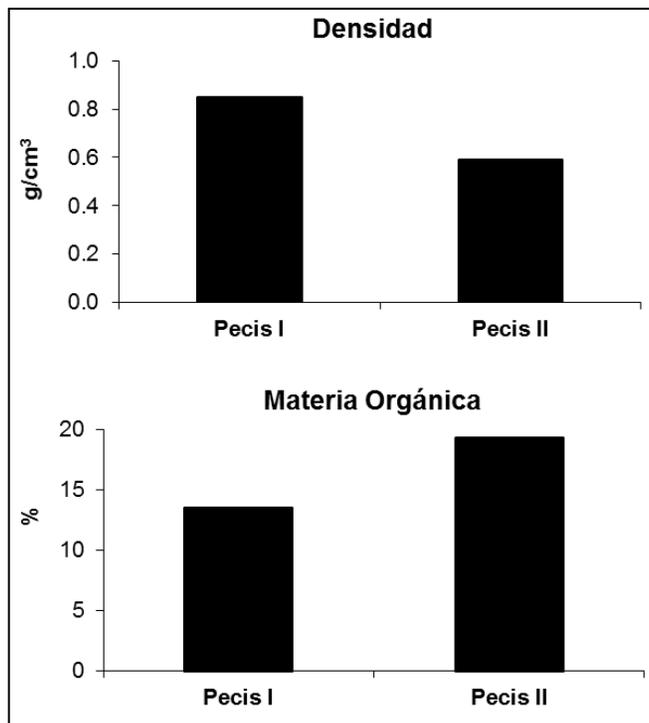


Figura 4. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Sisal.

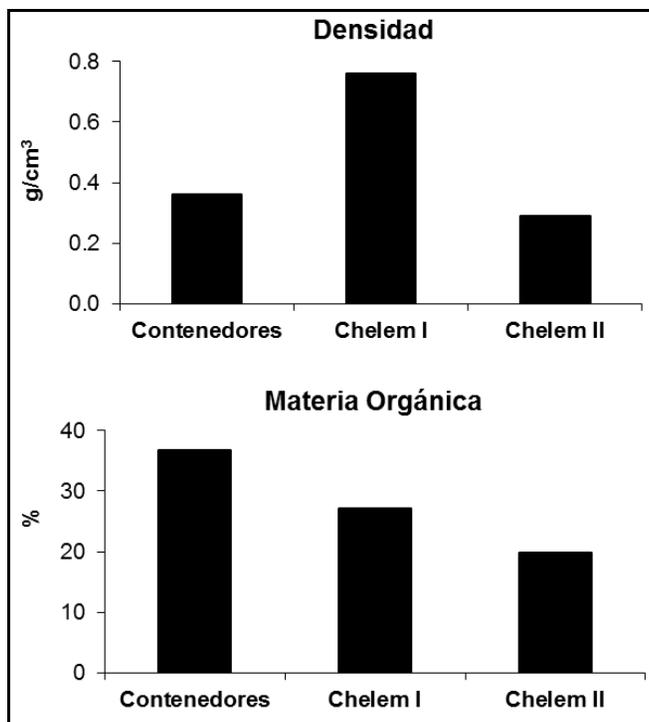


Figura 5. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el sitio Pueblo presenta sedimentos con mayor densidad aparente (0.93 g/cm³) que los de Elepeten (0.31 g/cm³). De acuerdo con

estos valores, los sedimentos de Pueblo pueden ser clasificados como muy densos y los de Elepeten como sedimentos con densidad media. En cuanto al porcentaje de materia orgánica Elepeten tiene mayores valores (22.65%) que Pueblo (14.51%) (Fig. 6).

Río Lagartos: El sitio El Cuyo presenta densidad aparente del sedimento (0.72 g/cm^3) más alta y contenido de materia orgánica (8.76%) más baja que los registrados en Río Lagartos ($DA=0.14 \text{ g/cm}^3$ y $MO=48.83\%$) En este caso se refleja claramente que los sedimentos con baja densidad suelen ser suelos con mayor contenido orgánico (Fig. 7).

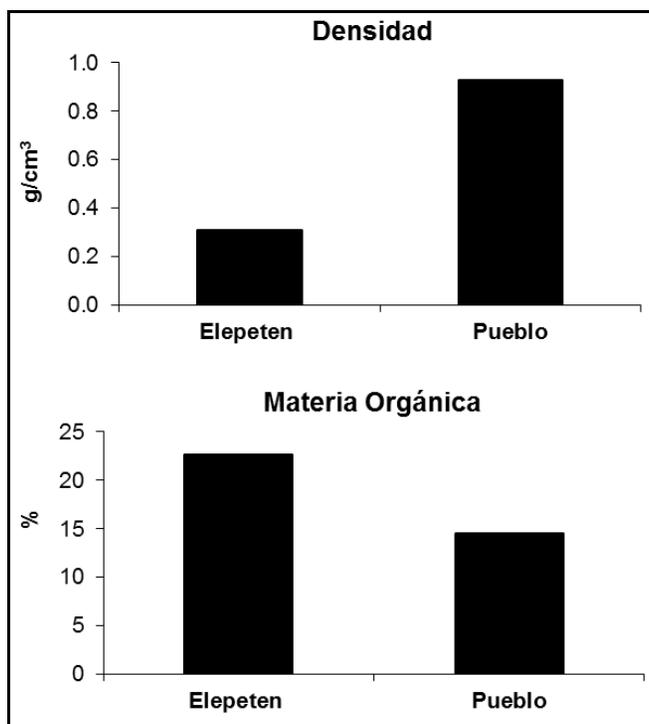


Figura 6. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Dzilam.

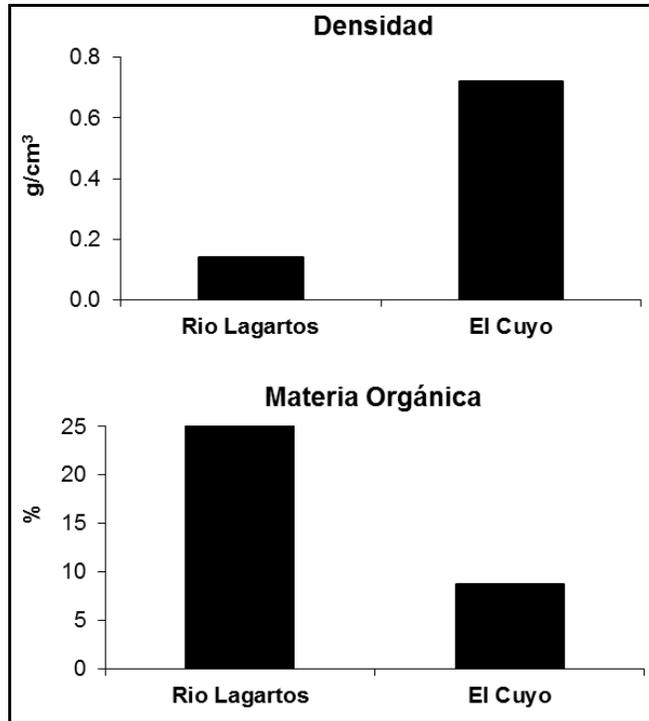


Figura 7. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Río Lagartos.

Nichupté: En la localidad de Nichupté, Polígono 1 presenta mayor relación masa/volumen del sedimento (0.36 g/cm^3) con respecto a Polígono 9 que tiene densidad aparente de 0.15 g/cm^3 . La cantidad de materia orgánica contenida en el sedimento tiene relación inversa con la densidad aparente del mismo, así pues, Polígono 9 presenta mayor cantidad de material orgánico (58.48%) que la que existe en Polígono 1 (37.61%) (Fig. 8).

Puerto Morelos: En Puerto Morelos, el sitio Ceiba presenta densidad aparente del sedimento más alta (0.23 g/cm^3) que en el sitio denominado CID (0.15 g/cm^3). Con estos valores bajos de densidad, los sedimentos del CID pueden ser clasificados como sedimentos muy sueltos, mientras que los de Ceiba pertenecerían a sedimentos sueltos. Por otra parte, el contenido de materia orgánica en CID es mayor (75.5%) que en Ceiba (39.81%) y que en todos los demás sitios en los que se realizó la caracterización (Fig. 9).

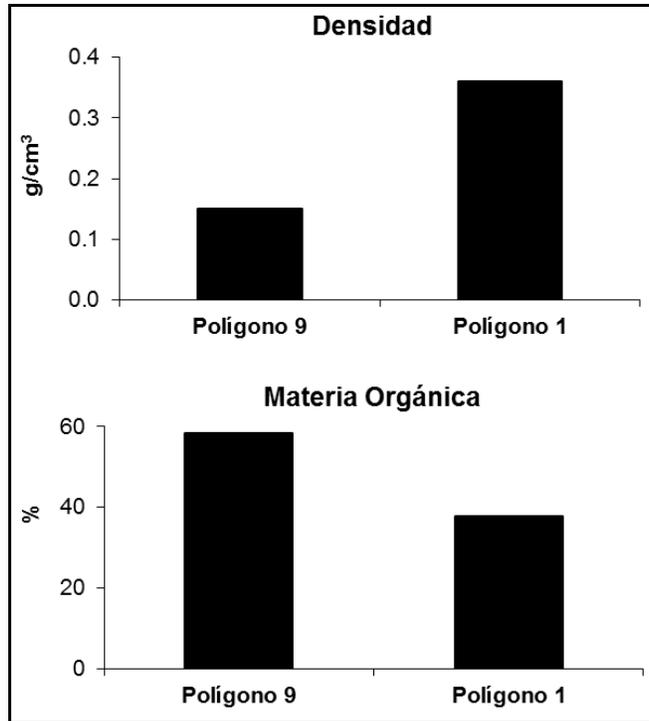


Figura 8. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Nichupté.

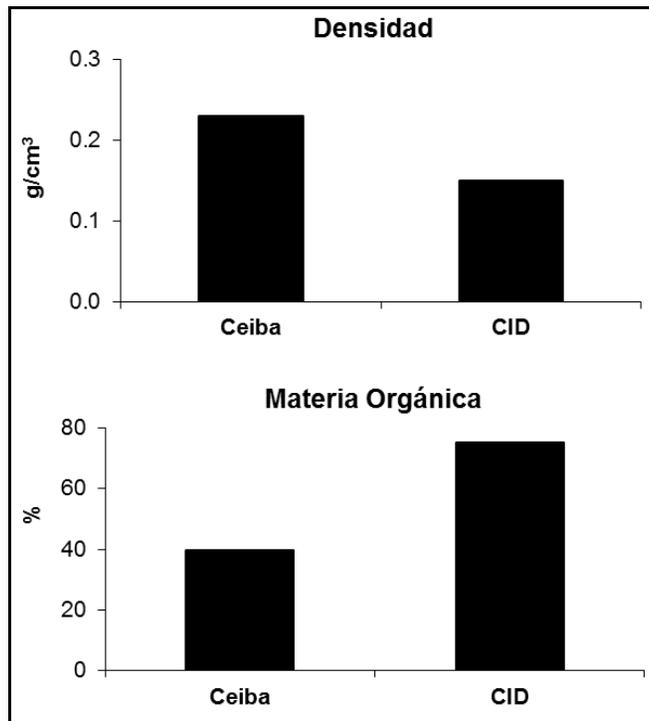


Figura 9. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Puerto Morelos.

Mahahual: En la localidad de Mahahual, el sitio 4 presenta mayor densidad aparente del sedimento (0.39 g/cm^3) con respecto a los sitios Mahahual 1, 2 y 3 (0.22 , 0.34 y 0.26 g/cm^3 , respectivamente). El contenido de materia orgánica más alto registrado para esta localidad fue registrado en Mahahual 3 (54.93%), seguido de Mahahual 1 (51.28%), Mahahual 4 (38.45%) y, por último, Mahahual 2 con 36.32% . El hecho de que, en general, la localidad presente un alto contenido de materia orgánica está relacionado con su dinámica de producción, acumulación y exportación (Fig. 10).

Chetumal: Dentro de la localidad de Chetumal, el sitio Tamalcab presentó mayor densidad aparente del sedimento (0.39 g/cm^3) con respecto a Río Hondo (0.31 g/cm^3). Por otra parte, Río Hondo posee mayor cantidad de materia orgánica en sus sedimentos (38.72%) con respecto a Tamalcab (25.19%). La diferencia entre ambos sitios puede estar determinada por las contribuciones de material orgánico que pudiera aportar el flujo de Río Hondo (Fig. 11).

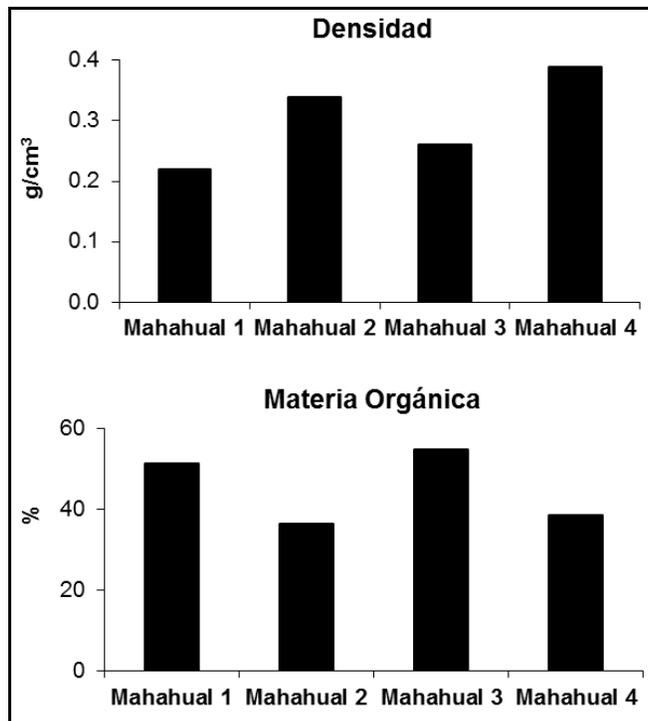


Figura 10. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar de Mahahual.

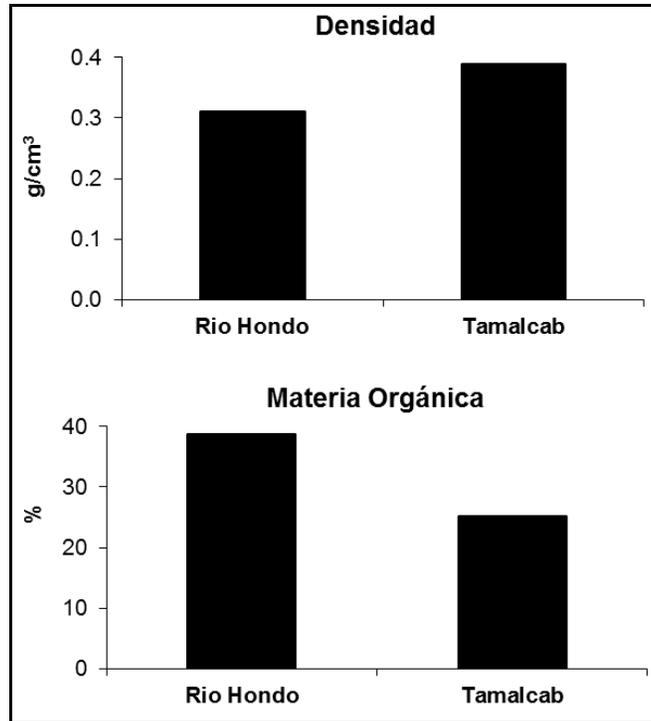


Figura 11. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Chetumal.

Nutrientes en sedimentos

Los macronutrientes primarios como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son esenciales en el proceso de transferencia de energía y son componentes principales de proteínas, ácidos nucleicos y clorofila. La deficiencia de estos elementos en el suelo puede implicar anomalías en el desarrollo de las plantas.

Celestún: Con respecto al contenido de nutrientes en el sedimento de la localidad de Celestún, el sitio Interna contiene mayor cantidad de nitrógeno (NT=0.862%) y de fósforo (PT=0.142%) con respecto a Puente (NT=0.681%, PT=0.119%) y Boca (NT=0.464%, PT=0.109%). Es importante destacar que los nutrientes (N y P) presentan un gradiente de mayores concentraciones en la zona Interna a menores concentraciones en la zona de la Boca (Fig. 12).

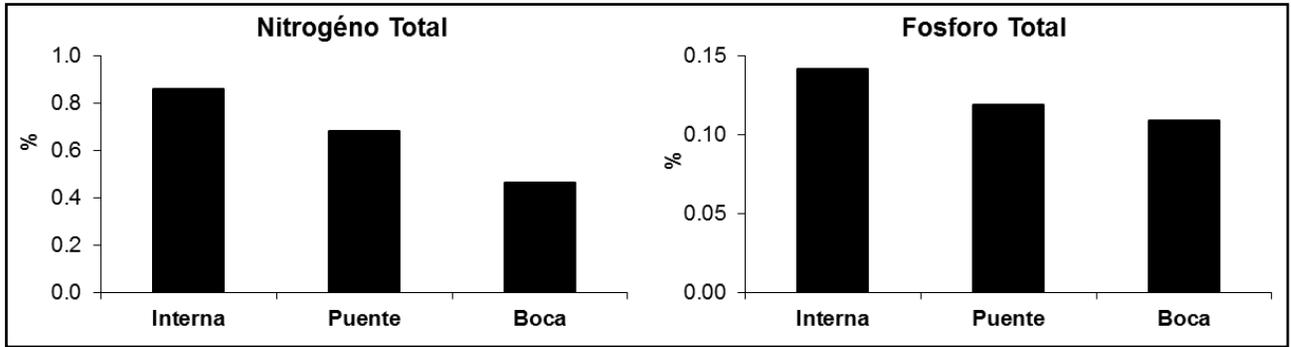


Figura 12. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, el sitio Pecis II presenta mayor concentración de nitrógeno y fósforo totales (0.531% y 0.138%, respectivamente) con respecto a los encontrados en Pecis I (NT=0.241%, PT=0.115%). A pesar de que los valores de fósforo en esta localidad son relativamente bajos, se encuentran dentro de valores normales generales. Sin embargo, para determinar si este nutriente constituye un factor limitante es necesario el análisis de la relación N:P (Fig. 13).

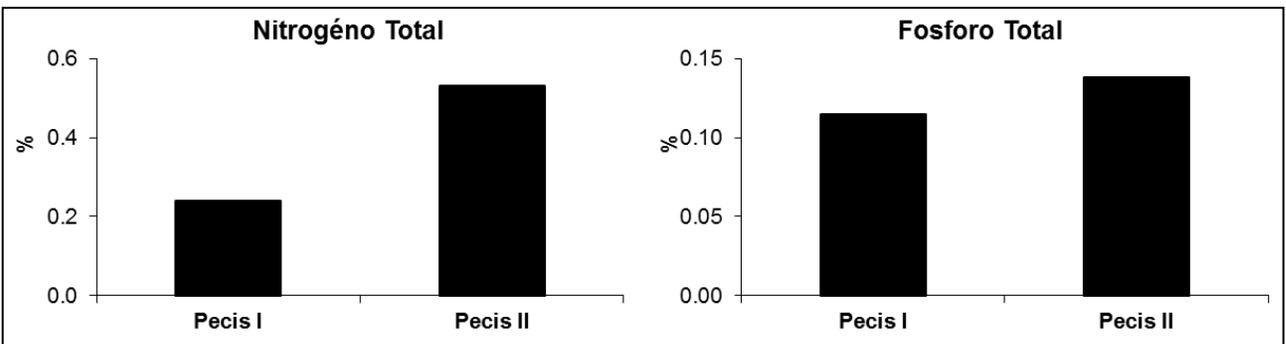


Figura 13. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal.

Progreso: En la localidad de Progreso, el sitio Contenedores posee una mayor cantidad de nitrógeno y fósforo totales en sedimento (NT=0.458%, PT=0.088%) con respecto a Chelem I y Chelem II. Estos valores, relativamente altos pueden ser resultado de la cercanía de Contenedores con los asentamientos humanos. Por otra parte, es importante destacar que Chelem II presenta la menor concentración de nitrógeno total (0.219%) con respecto a los otros sitios de esta localidad y de las otras localidades caracterizadas, mientras que Chelem I tiene la menor cantidad de fósforo total (0.057%) de la totalidad de sitios (Fig. 14).

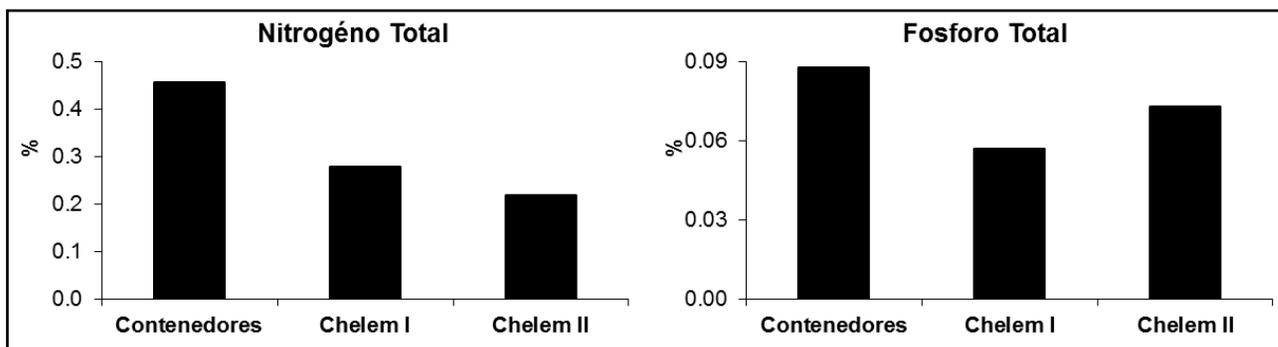


Figura 14. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el sitio Pueblo tiene mayor concentración de nitrógeno total (0.738%) que el sitio Elepeten (0.488%). El contenido de fósforo total tiene el mismo comportamiento, es más alto en Pueblo (0.125%) que en Elepeten (0.108%). Las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en Pueblo pueden estar dadas por la cercanía con la comunidad (Fig. 15).

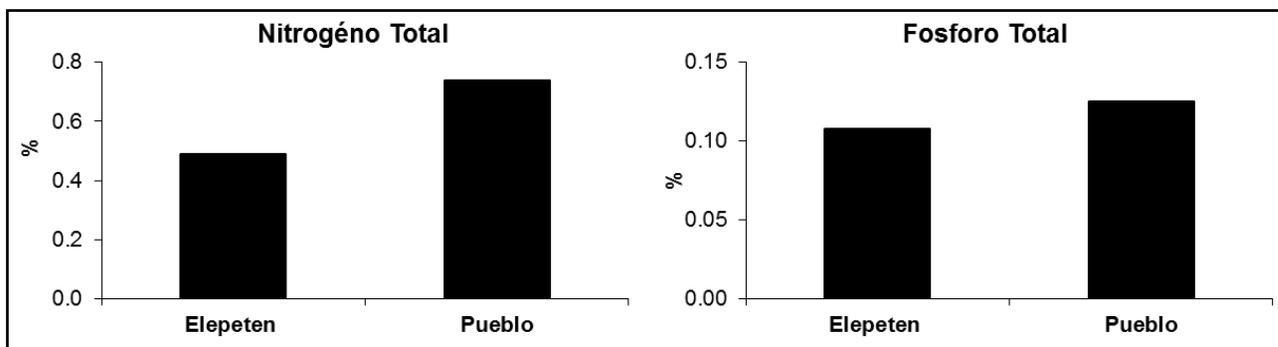


Figura 15. Nutrientes en sedimentos de manglar en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: El sitio Río Lagartos presenta un mayor contenido de nitrógeno total (1.086%) con respecto a El Cuyo (0.789%). Los altos valores de nitrógeno observados para esta localidad pueden estar dados por una gran cantidad de materia orgánica que se descompone *in situ*. Por otra parte, El Cuyo presenta un mayor porcentaje de fósforo total (0.154%) que Río Lagartos (0.126%) y que todos los demás sitios caracterizados (Fig. 16).

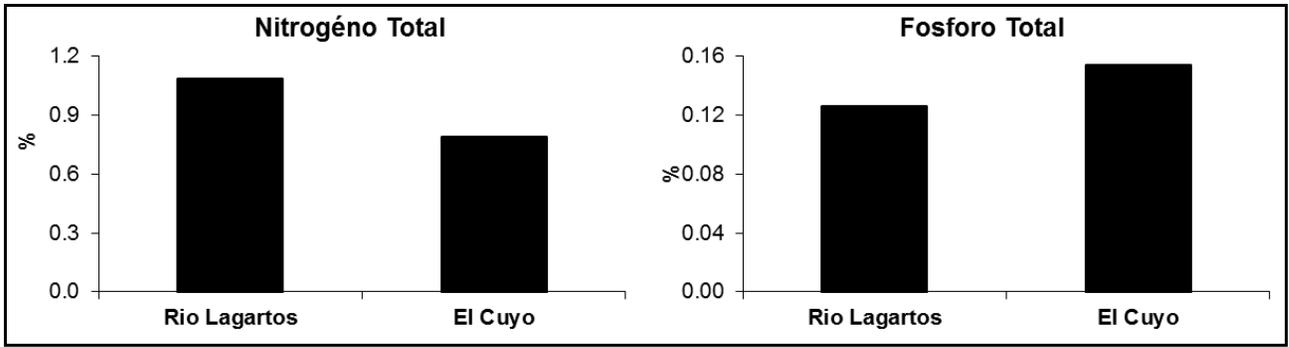


Figura 16. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: El sitio Polígono 9 presenta valores más altos de nitrógeno y fósforo (NT=1.843% y PT=0.144%) que Polígono 1 (NT=1.491% y PT=0.125%). Los dos sitios muestran valores altos para ambos nutrientes, esto puede ser por que se encuentran inmersos en el complejo lagunar de Nichupté que recibe influencia de aportes de los asentamientos humanos de sus alrededores. En este caso los nutrientes podrían analizarse para determinar grado de contaminación (Fig. 17).

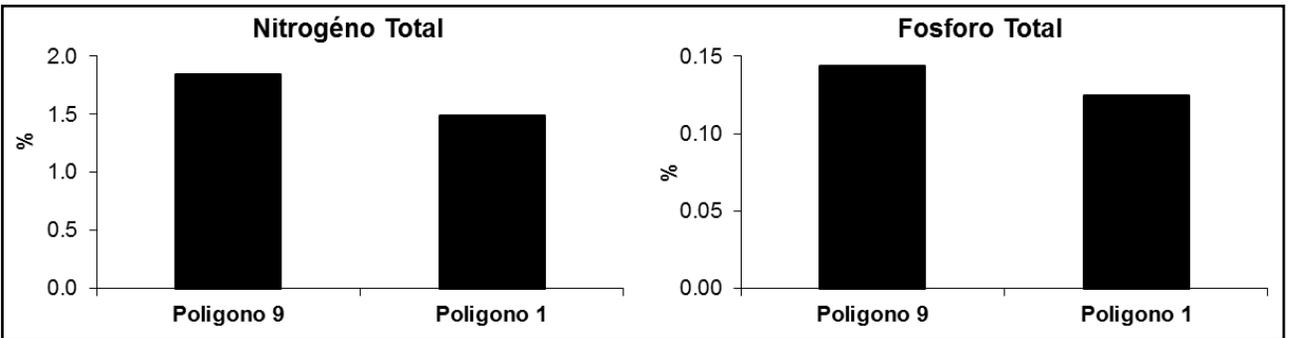


Figura 17. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: En la localidad de Puerto Morelos, el sitio CID presenta mayor concentración de nitrógeno total (2.41%) con respecto a Ceiba (1.51%). Es importante destacar que CID presenta la concentración de nitrógeno total más alta de todos los sitios de caracterización. La concentración de fósforo total tiene el mismo comportamiento: va de 0.127% en CID a 0.119% en Ceiba. En este sentido, la complejidad del ecosistema podría estar definida más por impacto antrópico que por procesos naturales de acumulación-exportación (Fig. 18).

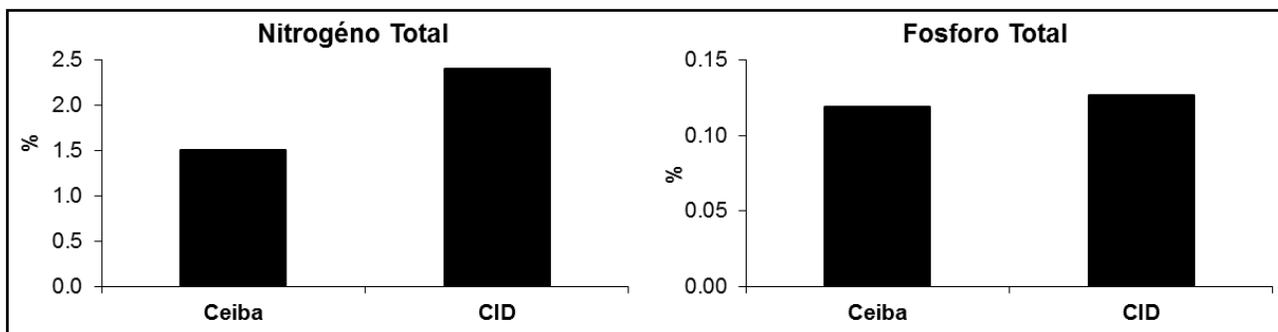


Figura 18. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos.

Mahahual: En la localidad de Mahahual, el sitio Mahahual 2 presenta mayores concentraciones de nitrógeno y fósforo total (NT=1.574% y PT=0.144%) seguido de Mahahual 4 (NT=1.232%, PT=0.125%), Mahahual 3 (NT=0.861%, PT=0.068%) y Mahahual 1 (0.612%, PT=0.087%) (Fig. 19).

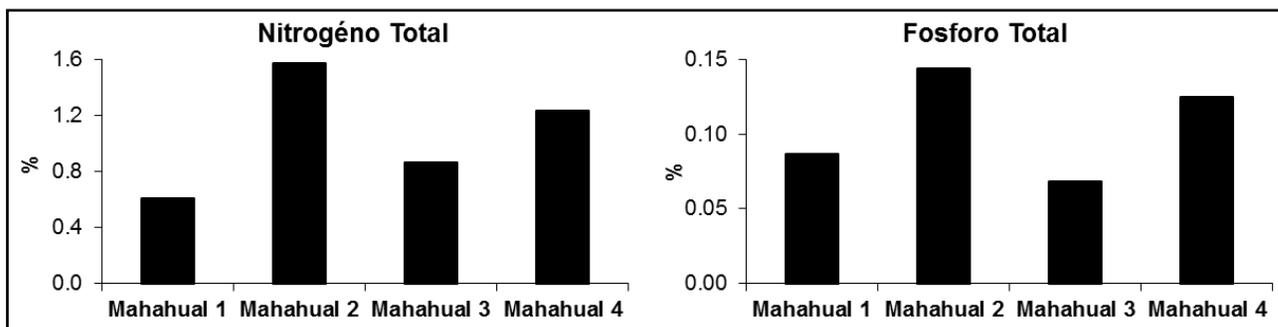


Figura 19. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Mahahual.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, el sitio Río Hondo muestra mayor concentración de nitrógeno total en sedimento (1.922%) con respecto a Tamalcab (1.116%). El alto contenido de nitrógeno, aunado a una baja salinidad permite el desarrollo de otro tipo de vegetación en Río Hondo. En cuanto a fósforo total, Río Hondo presenta 0.125% mientras que Tamalcab tiene 0.123%, a pesar de que estos valores son relativamente altos, debe considerarse su relación con el nitrógeno para determinar si este recurso pudiera convertirse en un factor limitante (Fig. 20).

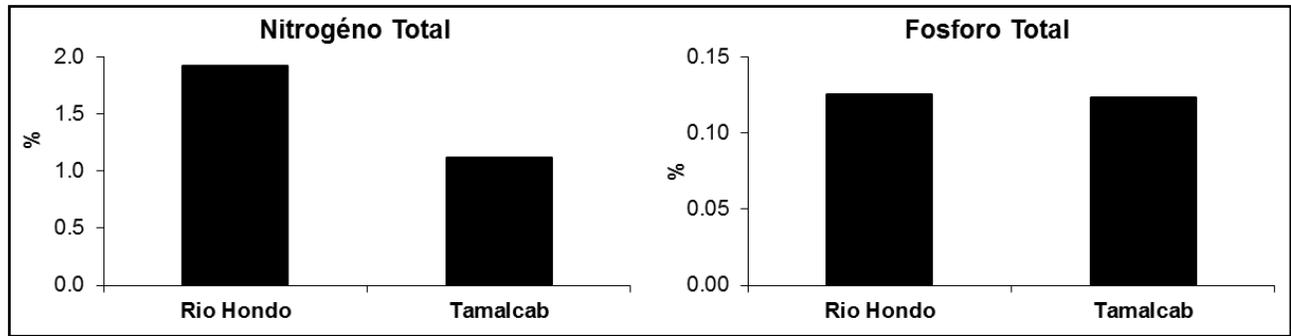


Figura 20. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal.

2. Características del agua: salinidad, pH y Redox

Los patrones de microtopografía e hidrología en una determinada zona dan origen a gradientes en las variables de salinidad, nutrientes, redox, pH, e incluso de algunos compuestos tóxicos como el sulfuro. Estas variables son reguladoras de las características de los manglares, por lo que su medición es importante en estudios de caracterización y monitoreo.

Salinidad intersticial

Los manglares son plantas halófitas facultativas que pueden crecer a diferentes concentraciones de sal en el agua intersticial, por lo que la salinidad es un factor que determina patrones de distribución vegetal.

Celestún: Los sitios Interna, Puente y Boca presentan salinidades intersticiales de 21.45, 35.90 y 49.28 g/kg, respectivamente. Los sitios de Celestún muestran un gradiente que va de menor a mayor salinidad desde la parte interna de la laguna, caracterizada por los constantes aportes de agua dulce de los manantiales, hasta la parte externa que tiene contacto directo con el mar. El hecho de que la salinidad influya en la distribución de las especies se pone de manifiesto en la dominancia de *L. racemosa* en la zona interna, mientras que en la zona de la Boca domina *A. germinans* (Fig. 21).

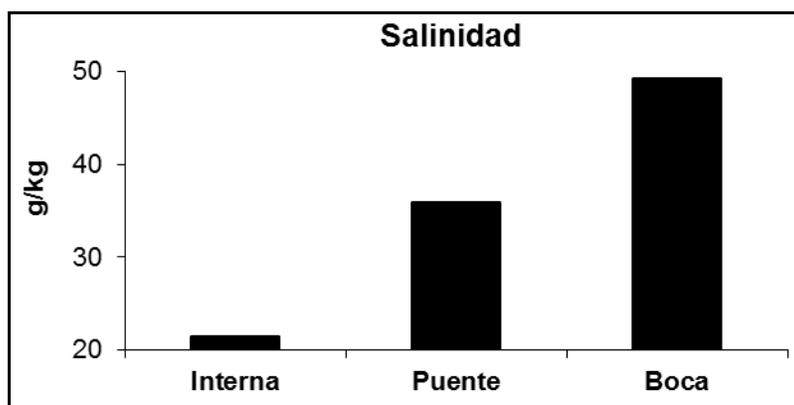


Figura 21. Salinidad intersticial de la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, el sitio Pecis II presenta mayor salinidad intersticial promedio (45.35 g/kg) con respecto al sitio Pecis I (33.28 g/kg). La alta salinidad de Pecis II está dada por asociación con los aportes de agua por precipitación y escorrentía, por lo cual hay que tener presente la estacionalidad de los muestreos. Es en este sentido que los resultados del monitoreo describen mejor el comportamiento de esta variable. Por otra parte, la dominancia de *A. germinans* en Pecis II refleja su tolerancia a altas concentraciones de sal (Fig. 22).

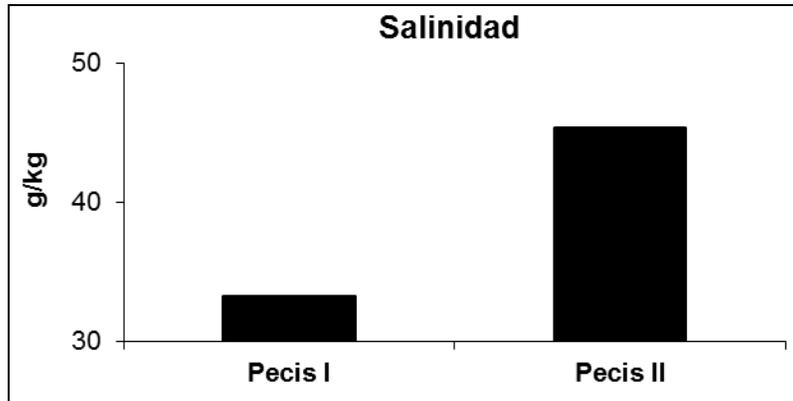


Figura 22. Salinidad intersticial de la localidad de Sisal.

Progreso: En la localidad de Progreso, el sitio Chelem I presenta mayor salinidad (68.65 g/kg) con respecto a los otros sitios (59.18 g/kg para Chelem II y 46.48 g/kg para Contenedores). Esta alta salinidad de Chelem I es probable que tenga influencia en la estructura de la vegetación, ya que altas salinidades pueden poner a las especies en estado de estrés y disminuir su desarrollo. La dominancia de especies está acorde con la salinidad observada en los sitios, ya que Contenedores posee baja salinidad y tiene dominancia de *R. mangle* indicando que hay recambio de agua con la laguna costera, mientras que en Chelem I, este proceso debe ser menor favoreciendo la evaporación y la acumulación de sal, condición que resiste mejor *A. germinans* (Fig. 23).

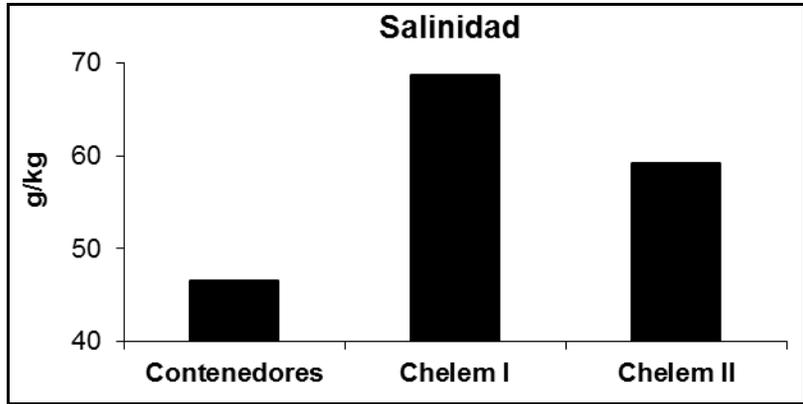


Figura 21. Salinidad intersticial de la localidad de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el sitio Elepeten presenta mayor salinidad (39.98 g/kg) con respecto a Pueblo (37.55 g/kg). Estas salinidades se encuentran por debajo de la mayoría de los sitios de caracterización y monitoreo en Yucatán. Sin embargo, la baja complejidad estructural puede deberse a otros factores, ya sea la escasez de recursos o la presencia de estresores (Fig. 24).

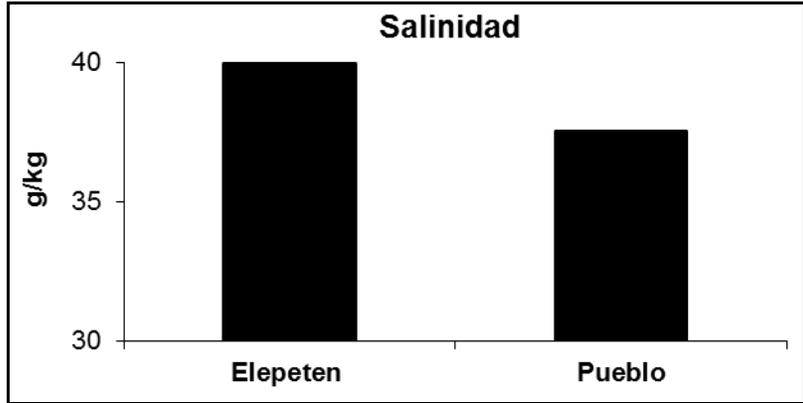


Figura 22. Salinidad Intersticial de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En esta localidad el sitio Río Lagartos presenta salinidad más alta (18.72 g/kg) que el sitio El Cuyo (14.12 g/kg). Ambos sitios presentan salinidades bajas con respecto a las otras localidades del proyecto, probablemente se localicen en una zona con abundantes descargas de agua dulce del acuífero (Fig. 25).

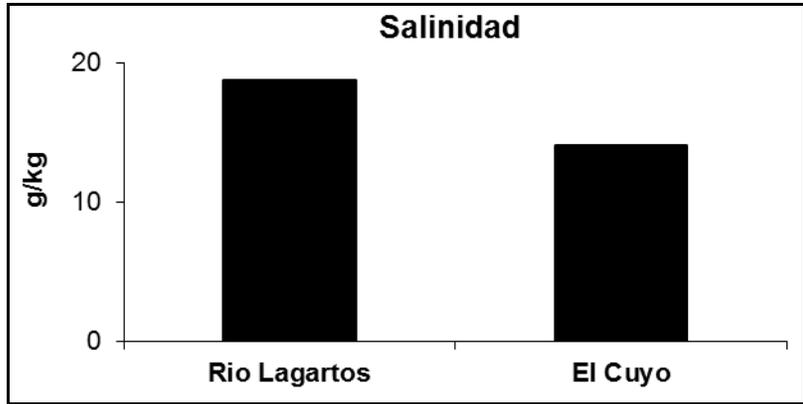


Figura 23. Salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En el área de Nichupté, el sitio de Polígono 9 presenta salinidad promedio de 38.18 g/kg, ligeramente mayor que la de Polígono 1 (34.68 g/kg). En ambos sitios el recambio de agua es constante con la laguna costera. (Fig. 26).

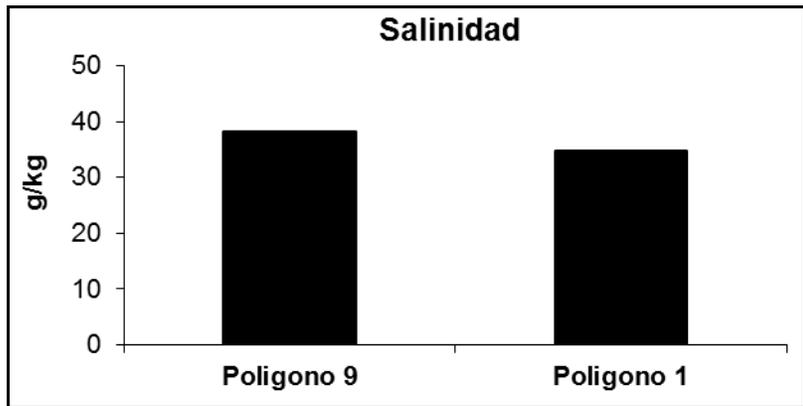


Figura 24. Salinidad intersticial de la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: En la localidad de Puerto Morelos, el sitio Ceiba presenta salinidad mayor (19.63 g/kg) con respecto a CID (16.25 g/kg), sin embargo, estas salinidades son bajas con respecto a las otras localidades caracterizadas en Q. Roo. Las características estructurales de la vegetación y la dominancia de especies en cada sitio son indicadores de la salinidad, y si esta variable puede llegar a ser un factor de estrés (Fig. 27).

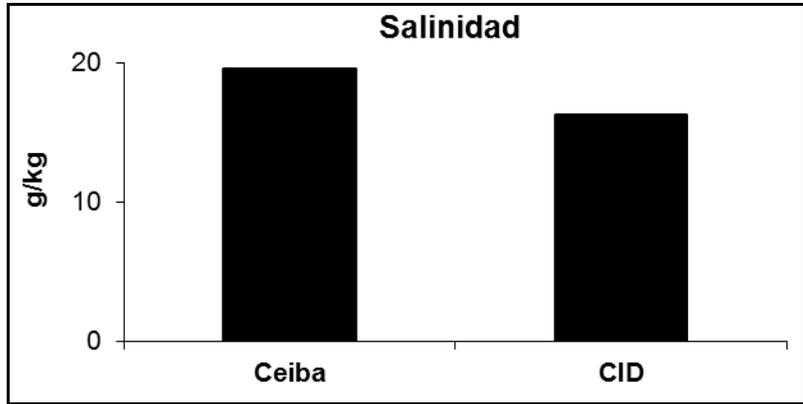


Figura 25. Salinidad Intersticial de la localidad de Puerto Morelos.

Mahahual: La salinidad intersticial en los sitios de la localidad de Mahahual va de 21 g/kg en Mahahual 1 a 27.04 g/kg en Mahahual 4. La similitud entre la salinidad de Mahahual 1 con Mahahual 2 y la de Mahahual 3 con Mahahual 4 puede estar dada por su ubicación. Es importante destacar que la localidad en general presenta salinidades bajas con respecto a otras localidades, y estas están dadas por el aporte de agua dulce que existe en la región (Fig. 28).

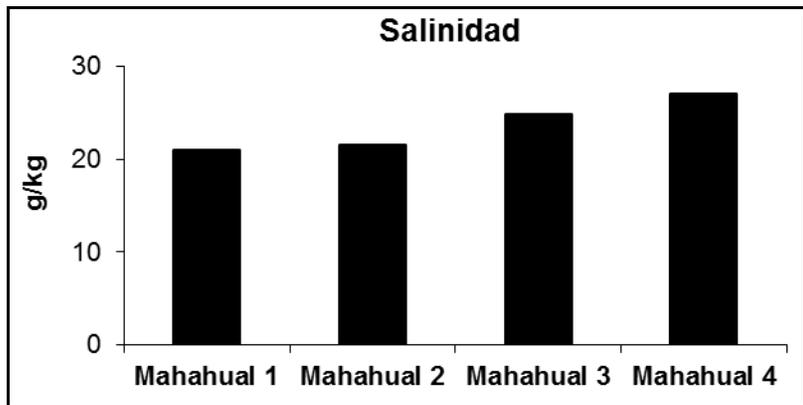


Figura 26. Salinidad intersticial de la localidad de Mahahual.

Chetumal: La salinidad intersticial en el sitio Tamalcab (28.60 g/kg) es mayor que en Río Hondo (5.80 g/kg) (Fig. 29). La baja salinidad en Río Hondo permite el establecimiento de especies tropicales características de selva mediana como *Pachira* sp. Por el contrario, la relativamente alta salinidad de Tamalcab ubicada en la Bahía

de Chetumal con intercambio de agua directo con el mar, origina la presencia de especies características de manglar y la dominancia de *R. mangle*.

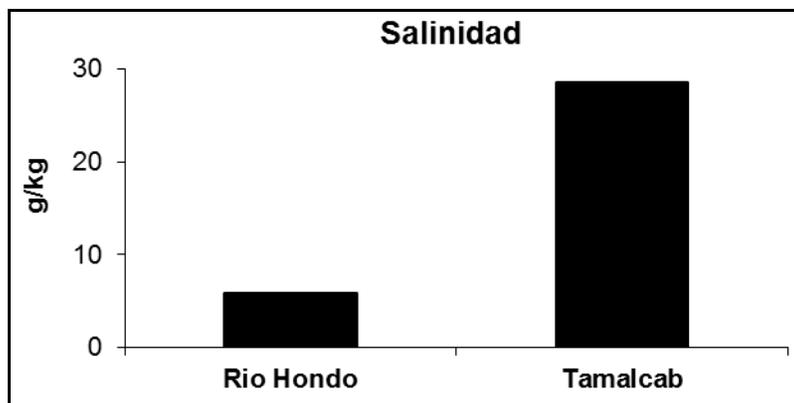


Figura 27. Salinidad Intersticial de la localidad de Chetumal.

Potencial Redox y pH

El potencial Redox mide el flujo de electrones durante el proceso de óxido-reducción de la materia orgánica y tiene relación con el pH, ya que las reacciones Redox vienen acompañadas de cambios en el pH. Estas variables se relacionan con la frecuencia y tiempo de inundación. Por ejemplo, mayores tiempos de inundación provoca condiciones anóxicas y con ello valores más negativos de Redox. Estas variables son indicativas del proceso de descomposición de materia orgánica, y de un proceso importante como es el almacenamiento de carbono orgánico.

Celestún: El sitio Boca presenta un mayor pH (7.94) y potencial Redox más negativo (-458.65 mV) con respecto a los otros sitios de la localidad, lo cual representa suelos ligeramente más básicos y con condiciones anóxicas dadas por prolongados periodos de inundación. Los menores valores de pH (7.46) y potencial Redox (-211.38 mV) fueron registrados en la zona Interna (Fig. 30).

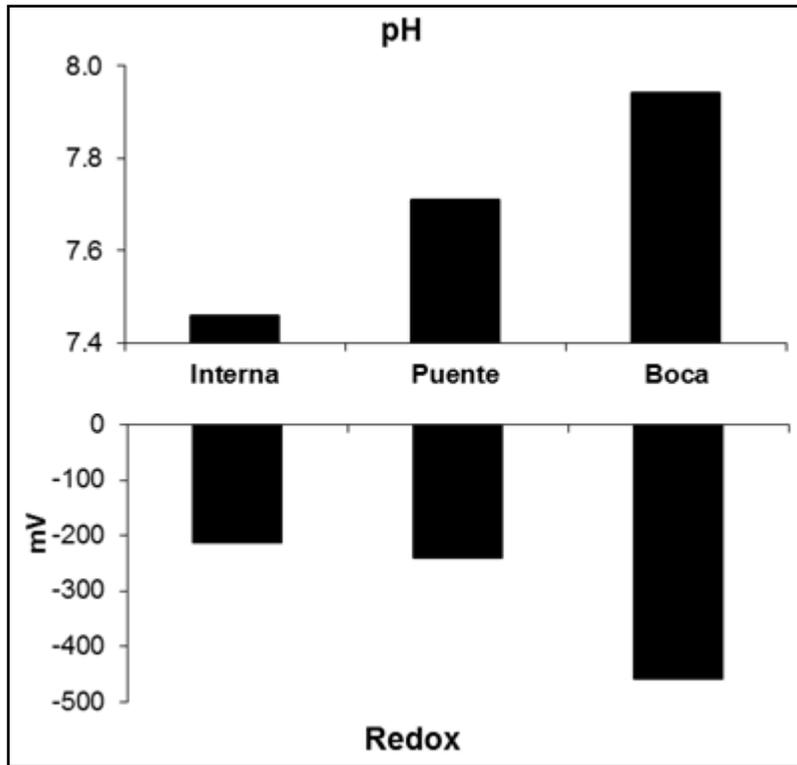


Figura 30. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, el sitio Pecis I presenta pH más alto (7.29) con respecto a Pecis II (7.18), representando los valores más bajos registrados para los sitios de Yucatán. El potencial Redox es más negativo (-91.75 mV) en Pecis I con respecto a Pecis II (-65.25 mV), sin embargo, estos valores son los más bajos registrados para el potencial Redox de todos los sitios caracterizados en la península de Yucatán (Fig. 31).

Progreso: El sitio Chelem II presenta los más altos valores de pH y Redox (7.36 y -251.2 mV, respectivamente), lo cual significa que tiene condiciones más alcalinas y más reducidas que los otros sitios. Por el contrario, el sitio Contenedores tiene un pH de 6.85 y un potencial Redox de -143.5 mV, lo cual implica condiciones más ácidas y menos reducidas con respecto a Chelem I y II. (Fig. 32).

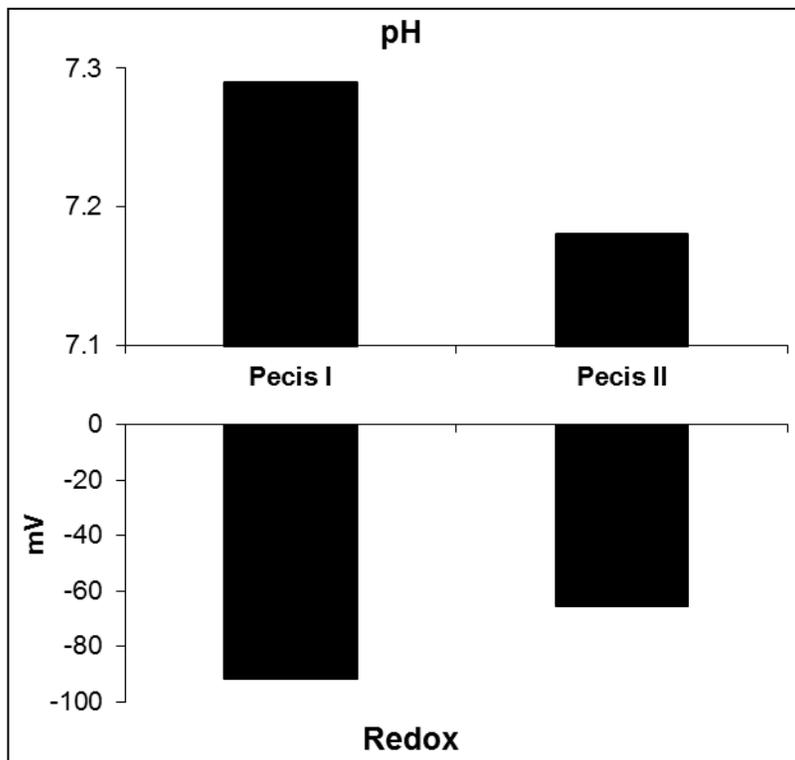


Figura 31. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal.

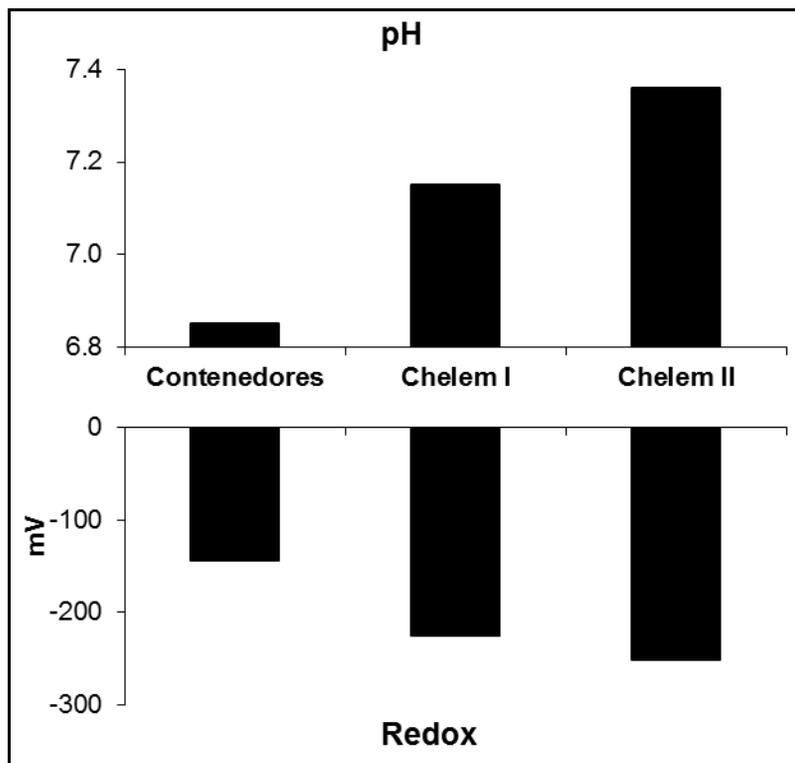


Figura 32. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el pH de Elepeten (7.75) es mayor que el de Pueblo (7.57), mientras que por el contrario, Pueblo tiene un potencial Redox más negativo (-283 mV) que Elepeten (-118 mV), lo cual implica que en Pueblo los suelos son más reducidos (Fig. 33).

Río Lagartos: El sitio El Cuyo presenta valores de pH (7.47) mayores que los de Río Lagartos (7.28), sin embargo, ambos presentan condiciones ligeramente ácidas. En cuanto al potencial Redox, El Cuyo presenta valores más negativos (-159.73 mV) con respecto a Río Lagartos (-127 mV) a pesar de que los dos sitios presentan condiciones reducidas que dan idea de periodos de inundación intermitentes (Fig. 34).

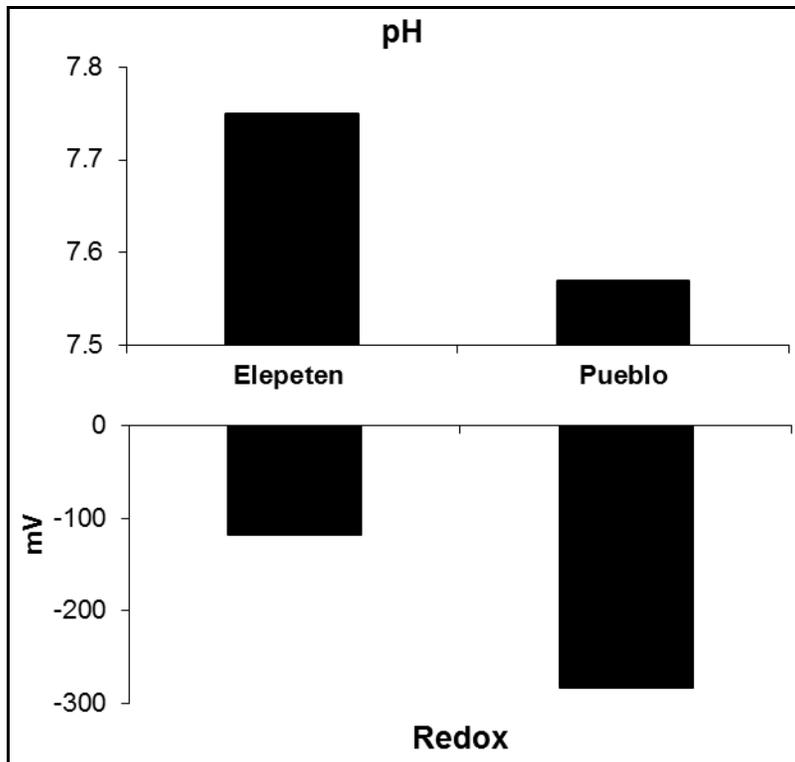


Figura 33. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

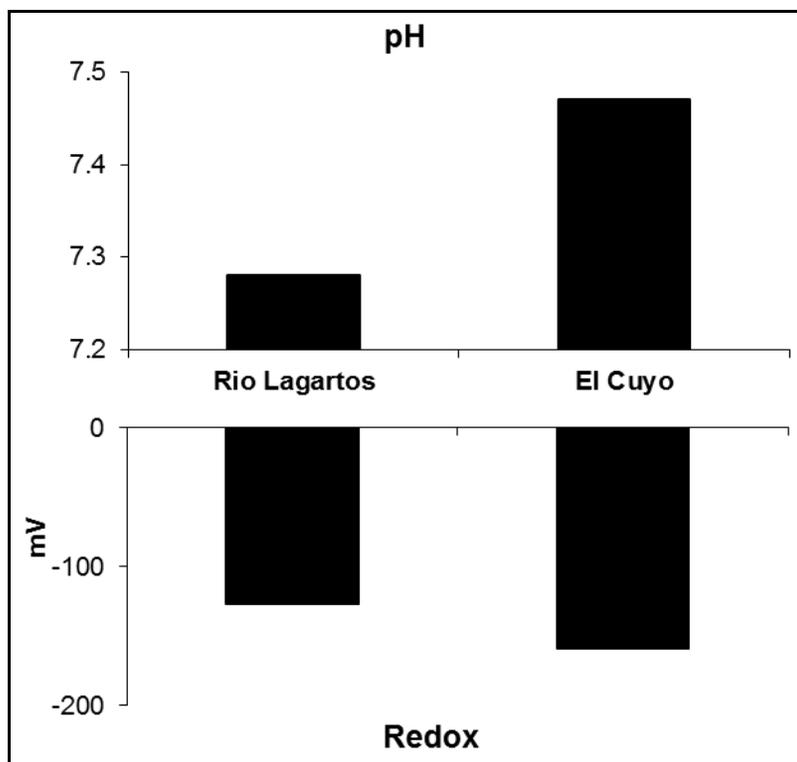


Figura 34. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En la localidad de Cancún, dentro de los sitios ubicados en el sistema lagunar de Nichupté, Polígono 1 presenta un pH (6.97) mayor que el registrado para Polígono 9 (6.45). Estos sitios presentan el pH más bajo de todos los sitios caracterizados en la PY, lo cual implica que en esta localidad los sedimentos son más ácidos. De acuerdo con el potencial Redox, Polígono 1 tiene condiciones menos reducidas (-253.3 mV) que Polígono 9 (-297.5 mV) dando indicio de que en este la duración de la inundación o el contenido de materia orgánica en el sedimento son mayores (Fig. 35).

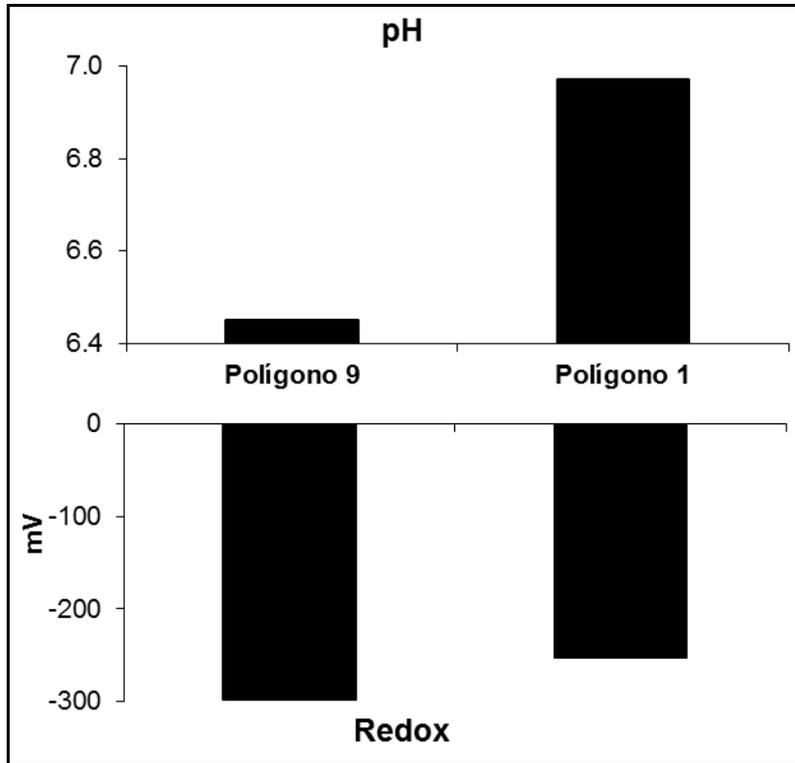


Figura 35. Potencial Redox y pH en suelos de manglar de la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: El sitio Ceiba presenta un mayor pH (7.58) que el sitio CID (7.24), a pesar de que la diferencia entre los sitios es relativamente pequeña puede significar un gran cambio en las condiciones de la vegetación. El hecho de que CID presente suelos relativamente más ácidos se refleja en la actividad de los electrones en el sedimento, encontrando que este sitio posee condiciones más reducidas (-228 mV) con respecto a Ceiba (-109 mV), lo cual podría indicar diferencias en el hidropereodo (Fig. 36).

Mahahual: Mahahual 2, que presenta el valor más alto para pH (7.24), tiene el valor menos reducido de potencial Redox (-173 mV) mientras que Mahahual 3 tiene el valor más bajo de pH (6.97) y la característica más reducida de acuerdo con su potencial Redox (-242 mV). Las diferencias observadas entre los sitios podrían estar dadas por la posición de estos con respecto a la costa, y con respecto a la carretera que cruza la

zona, ya que esta puede influir en las variables del hidroperiodo que controlan en gran parte las variaciones en el pH y potencial Redox (Fig. 37).

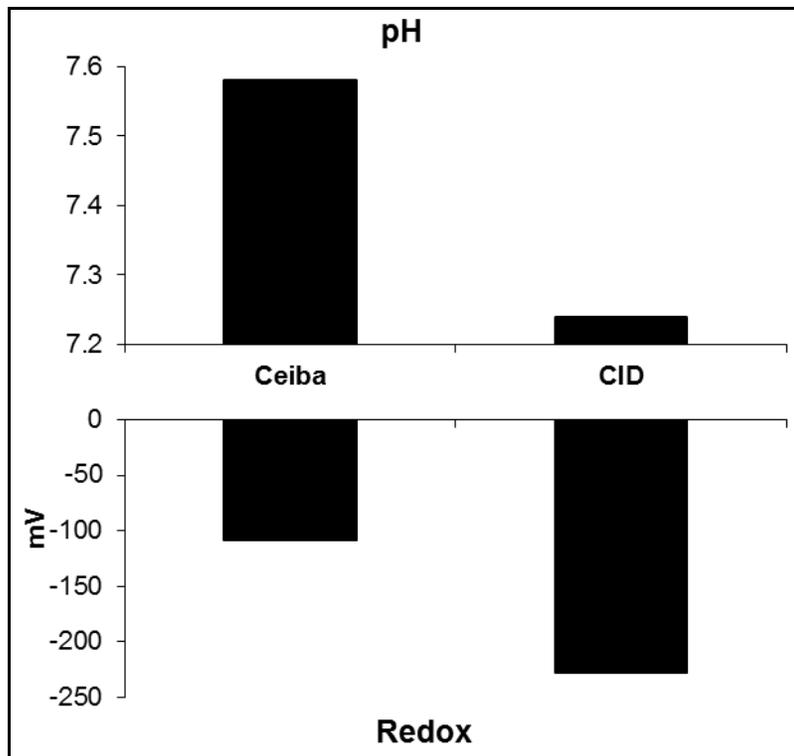


Figura 36. Potencial Redox y pH de la localidad de Puerto Morelos.

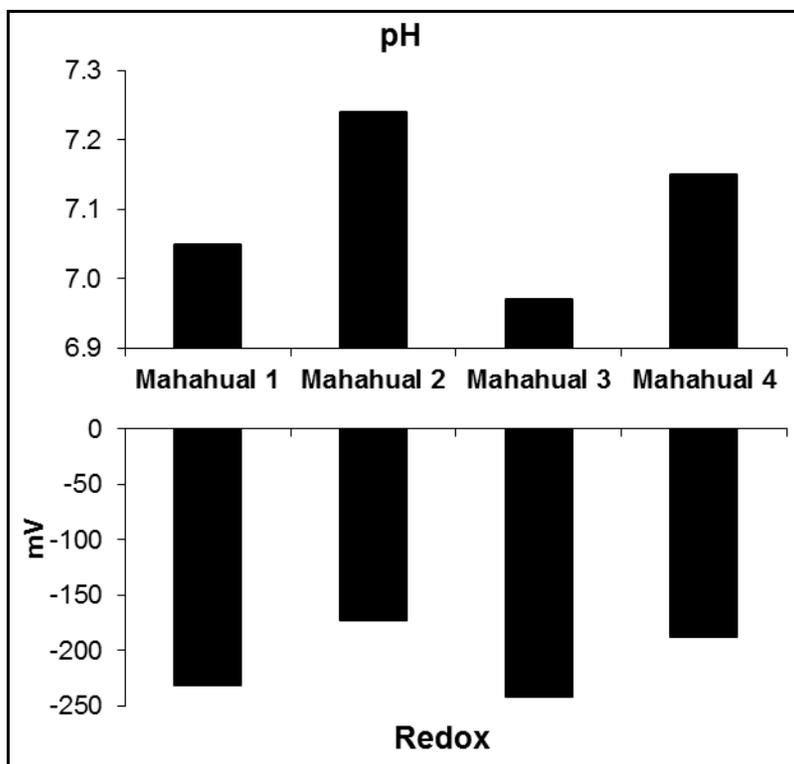


Figura 37. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Mahahual.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, el sitio Tamalcab presenta suelos ligeramente más ácidos ($\text{pH}=7.37$) que Río Hondo ($\text{pH}=7.31$). En cuanto al potencial Redox, Tamalcab presenta condiciones más reducidas (-131.5 mV) que Río Hondo (-72.5 mV). Sin embargo, los dos sitios tienen condiciones moderadamente reducidas que podrían estar dadas por la dinámica hidrológica de cada uno (Fig. 38).

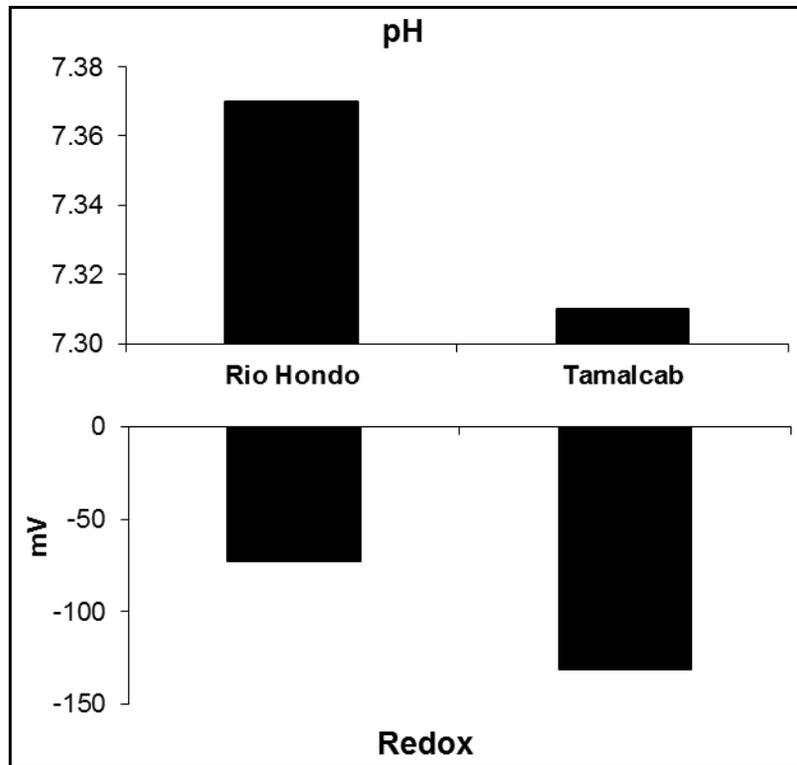


Figura 38. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Chetumal.

3. Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles

Estructura de árboles adultos

Celestún: Existe una relación inversa entre el área basal y la densidad de los individuos por lo que en sitios donde se observan áreas basales grandes, la densidad es menor. Así pues, la zona interna presenta una mayor área basal ($42 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y una menor densidad (989 ind. ha^{-1}). Sin embargo, de acuerdo con las variables analizadas se observa mayor desarrollo estructural del bosque de manglar en el sitio de la parte interna de la laguna, en la cual los individuos presentan área basal y altura (12.30 m) mayores con respecto a los otros sitios, lo cual se refleja también en el índice de complejidad (IC) de 14.97 observado en esta zona. El sitio menos desarrollado, con base en su complejidad, es la zona de la boca (6.64) a pesar de tener área basal de $30.1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y densidad de $2,450 \text{ ind. ha}^{-1}$, lo cual no necesariamente significa que se encuentre en mal estado de conservación. Las diferencias son resultado del gradiente de diferentes variables ambientales. El índice de valor de importancia (IVI) jerarquiza la dominancia de cada especie, así pues, el valor de importancia más alto es para *L. racemosa* (IVI = 60%), *R. mangle* (IVI = 53%) y *A. germinans* (IVI = 67%) en los sitios interna, puente y boca, respectivamente, apoyando la premisa de las diferencias en las condiciones fisicoquímicas de cada sitio, principalmente la salinidad intersticial que podría explicar los patrones de distribución vegetal (Fig. 39).

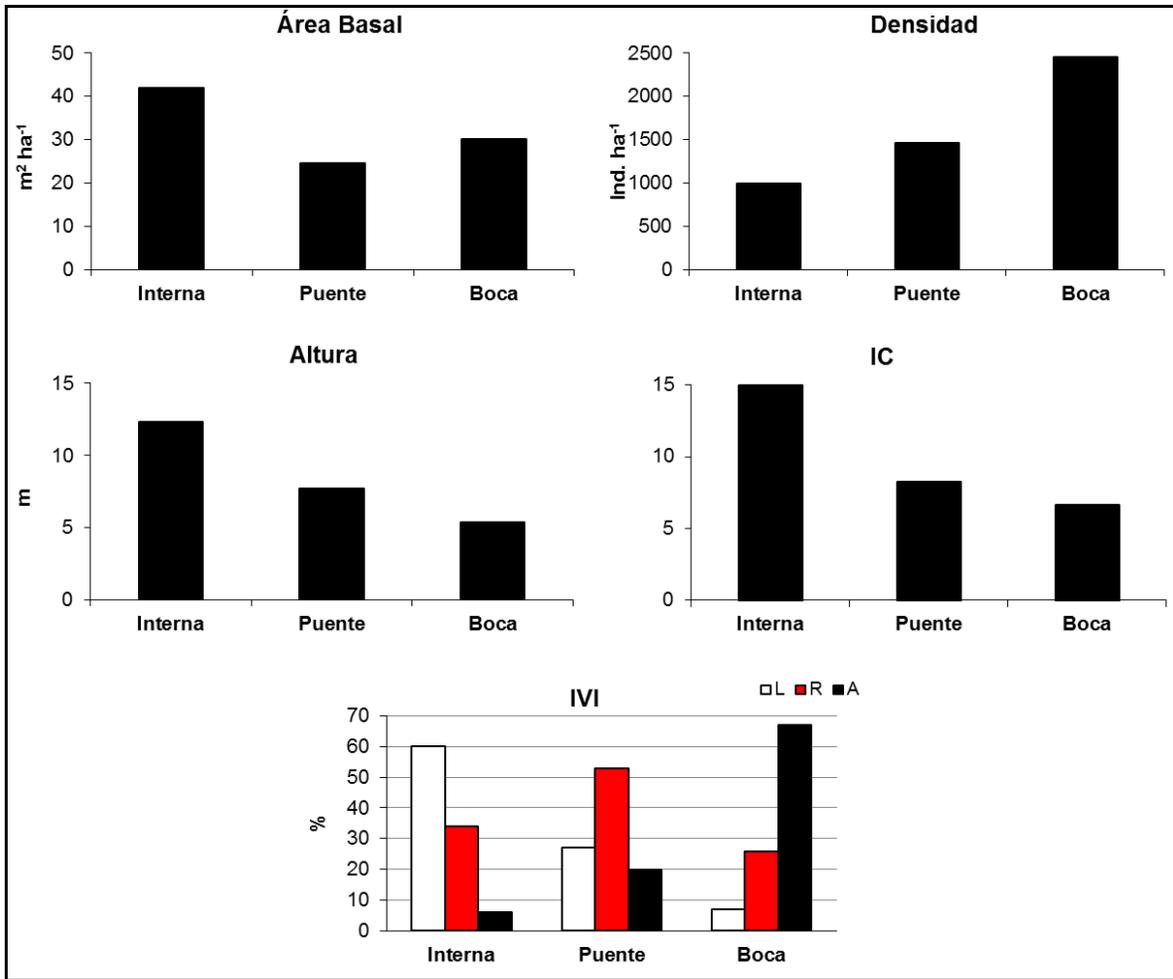


Figura 39. Variables estructurales de la localidad de Celestún. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Sisal: En cuanto al área basal, Pecis I presenta 16.95 m² ha⁻¹ mientras que Pecis II tiene 18.85 m² ha⁻¹, en tanto que la densidad de árboles observada para Pecis I y Pecis II fue de 4,883 ind. ha⁻¹ y 4,805 ind. ha⁻¹, respectivamente, sugiriendo que en el primer sitio hay árboles relativamente jóvenes (menor área basal y mayor densidad). Por otra parte, los individuos más altos se observaron en Pecis II (4.07 m). El desarrollo estructural de acuerdo con el índice de complejidad es menor en el sitio Pecis I (6.79) con respecto a Pecis II (7.35). Con base en el índice de valor de importancia, ambos sitios se encuentran dominados por *A. germinans* (Pecis I = 77% y Pecis II = 98%) (Fig. 40).

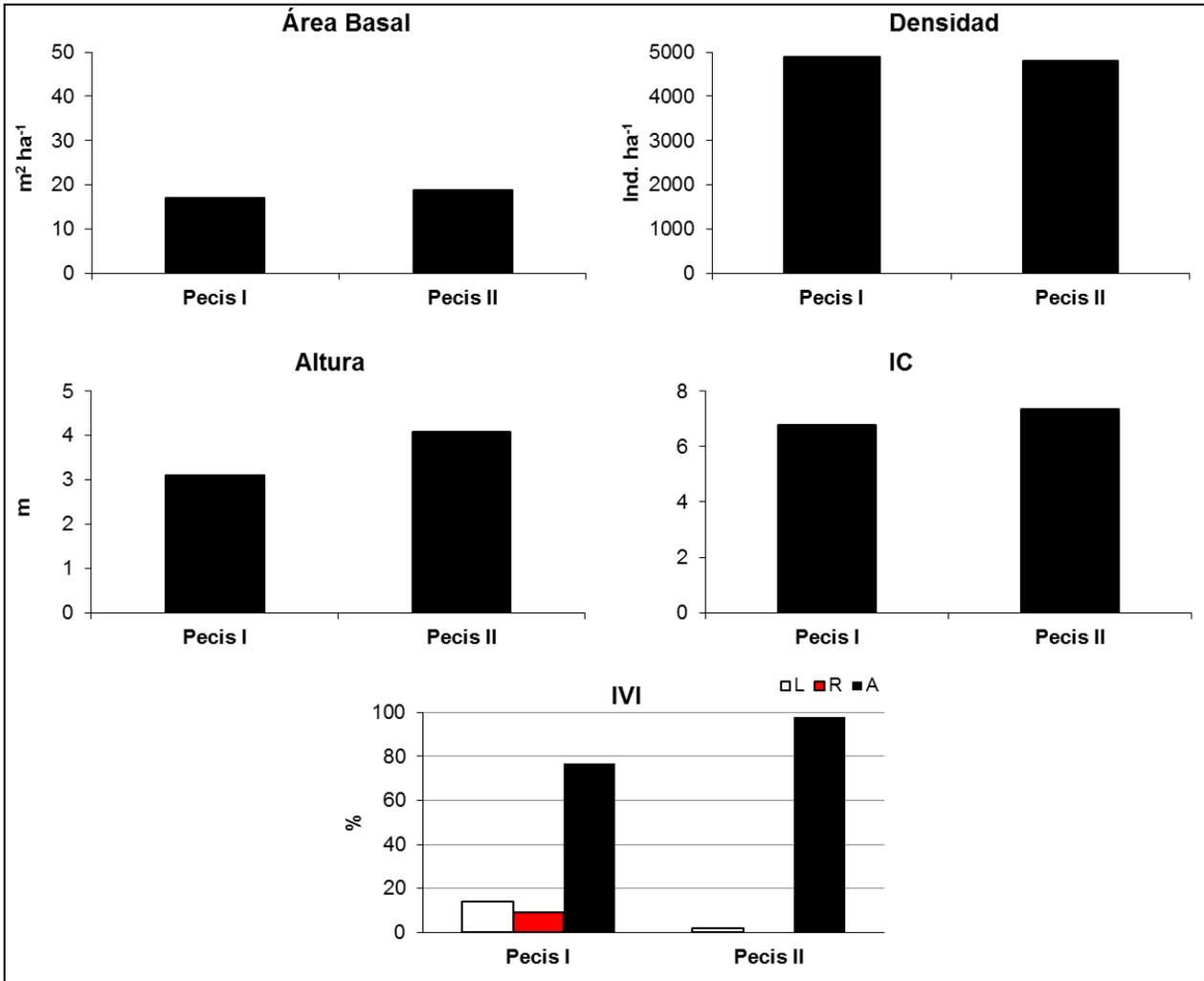


Figura 40. Variables estructurales de la localidad de Sisal. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Progreso: Chelem II presenta mayor área basal ($33.75 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y menor densidad ($2,780 \text{ ind. ha}^{-1}$) con respecto a los otros sitios, indicando que en este sitio existe un bosque con mayor madurez estructural, reflejándose en su índice de complejidad ($\text{IC} = 19.84$), a diferencia de Chelem I que tiene un IC de 1.81 que indica un bosque más joven con mayor número de individuos por hectárea ($D = 4,070 \text{ ind. ha}^{-1}$) pero área basal menor ($6.86 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Los árboles más altos se registraron en Chelem II (4.25 m). En cuanto al índice de valor de importancia de las especies, se observa que en Contenedores domina *R. mangle* ($\text{IVI} = 56\%$), mientras que en Chelem I y Chelem II dominan *A. germinans* ($\text{IVI} = 68\%$) y *L. racemosa* ($\text{IVI} = 72\%$), respectivamente (Fig. 41).

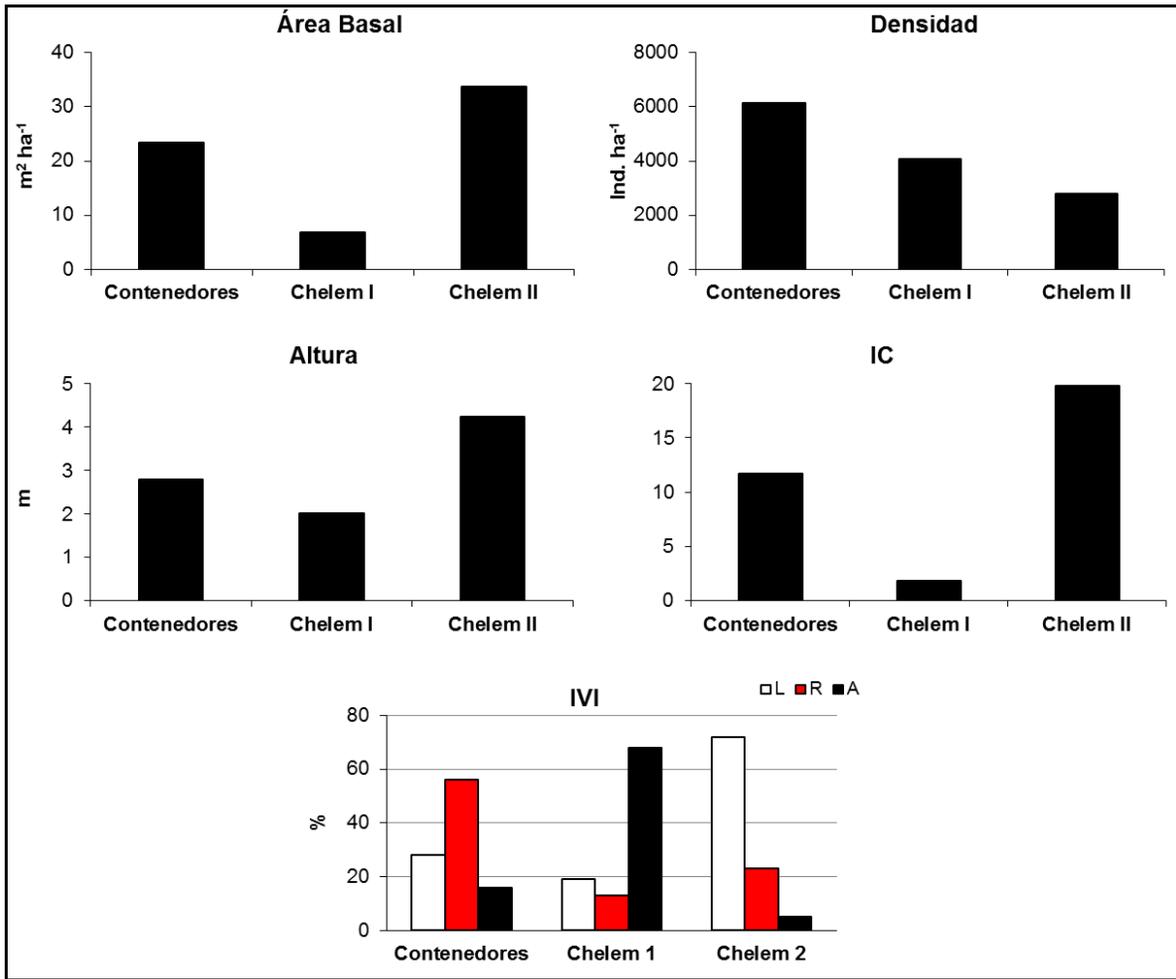


Figura 41. Variables estructurales de la localidad de Progreso. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Dzilam: De los sitios de la localidad de Dzilam, Elepeten presenta área basal ($AB = 7.32 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), densidad ($D = 1274.64 \text{ ind ha}^{-1}$), altura (4.3 m) y, por lo tanto, índice de complejidad ($IC = 1.31$) mayores que Pueblo ($AB = 1.84 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $D = 301.35 \text{ ind ha}^{-1}$, $A=2.25 \text{ m}$, $IC = 0.29$), sin embargo, los valores de ambos sitios son menores respecto a los encontrados en las otras localidades caracterizadas. Por otra parte, el índice de valor de importancia de las especies presenta un gradiente de *L. racemosa* a *A. germinans* y es inverso para ambos sitios, ya que mientras en Elepeten domina *L. racemosa* ($IVI = 51\%$), en Pueblo domina *A. germinans* ($IVI = 85\%$) (Fig. 42).

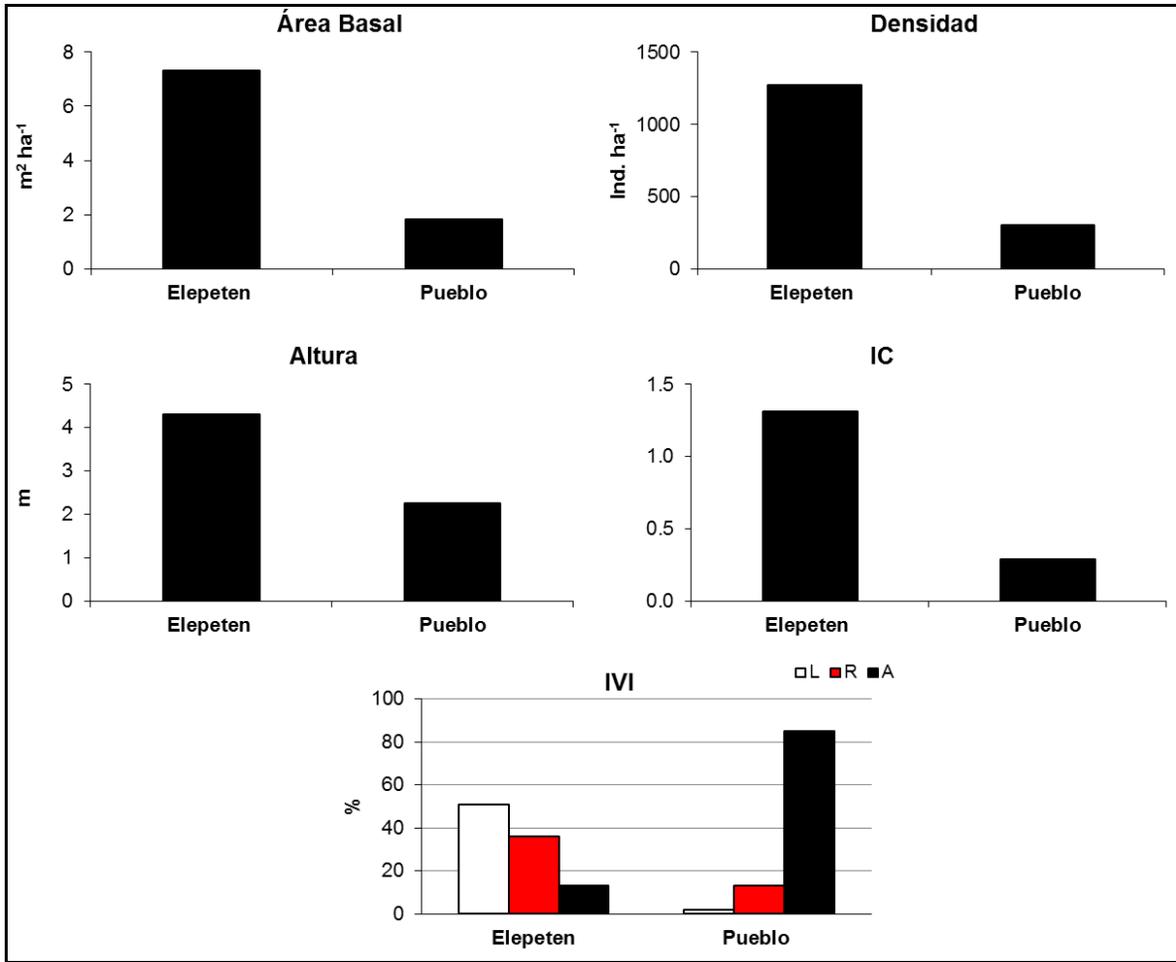


Figura 42. Características estructurales de la localidad de Dzilam. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Río Lagartos: El área basal en los sitios de Río Lagartos y El Cuyo es de 11.1 y 22.9 m² ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo, en El Cuyo se presenta un mayor número de individuos por hectárea (D= 4,055 ind ha⁻¹) mientras que, en Río Lagartos los individuos son más altos (A= 8.67 m). Dadas las características anteriores, El Cuyo presenta mayor complejidad estructural (IC = 4.88) con respecto a Río Lagartos (IC= 0.58). En cuanto al índice de valor de importancia de las especies, se observa que el manglar de Río Lagartos es dominado por *R. mangle* (IVI = 85%) con presencia de *L. racemosa* (IVI = 15%) mientras que en El Cuyo el manglar es monoespecífico de *A. germinans* (IVI = 100%) (Fig. 43).

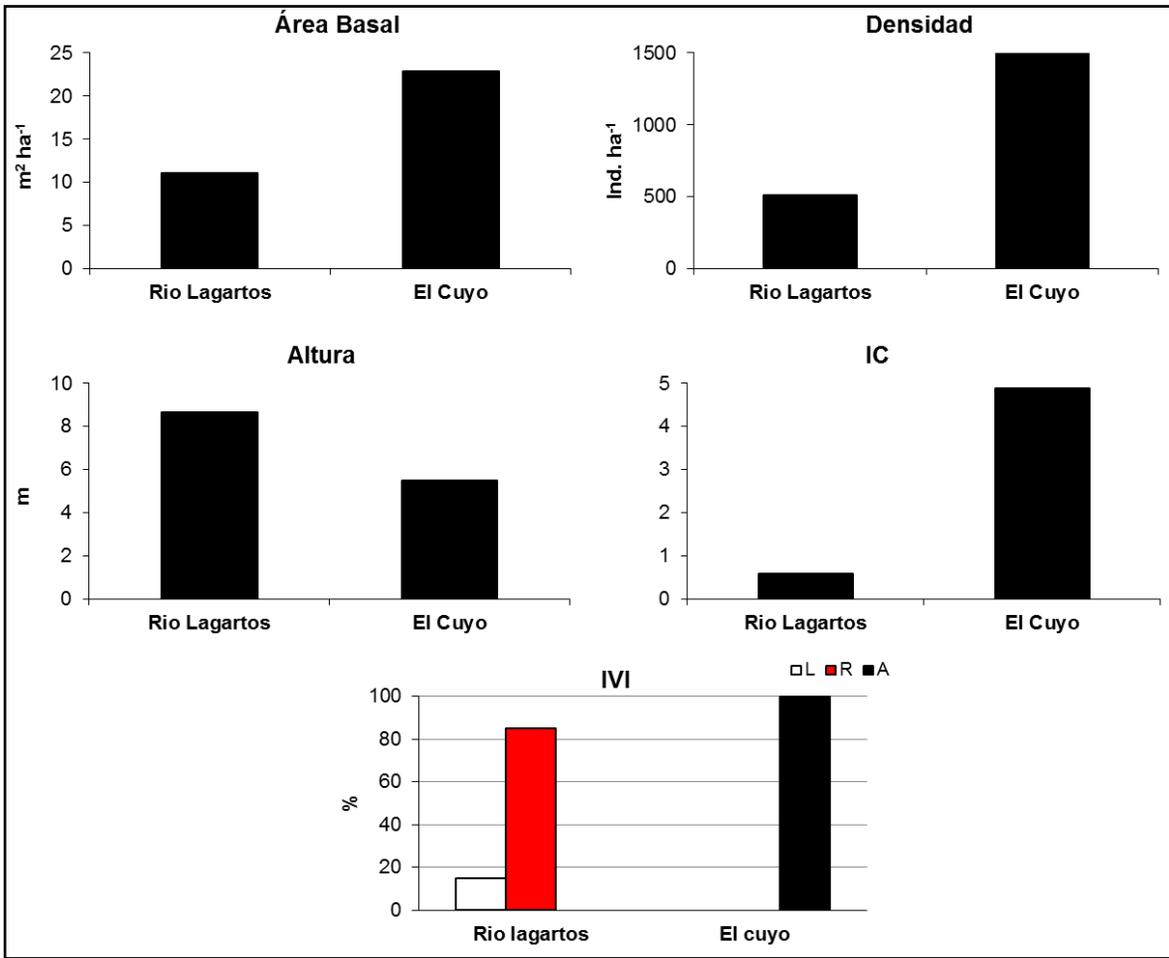


Figura 43. Variables estructurales de la localidad de Río Lagartos. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Nichupté: En la localidad de Nichupté, Polígono 1 presenta área basal ($AB=39.15 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y densidad ($D= 7,283 \text{ ind. ha}^{-1}$) mayores que Polígono 9 ($AB= 27.15 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $D= 3955 \text{ ind. ha}^{-1}$). Sin embargo, en Polígono 9 los árboles son más altos ($A= 7.39 \text{ m}$) que en Polígono 1 ($A= 6.62 \text{ m}$). Con base en las características anteriores, el índice de complejidad refleja que Polígono 1 tiene mayor complejidad estructural ($IC= 18.21$). El índice de valor de importancia es de 100% para *R. mangle* en ambos sitios, lo que indica que son bosques monoespecíficos donde la inundación es continua (Fig. 44).

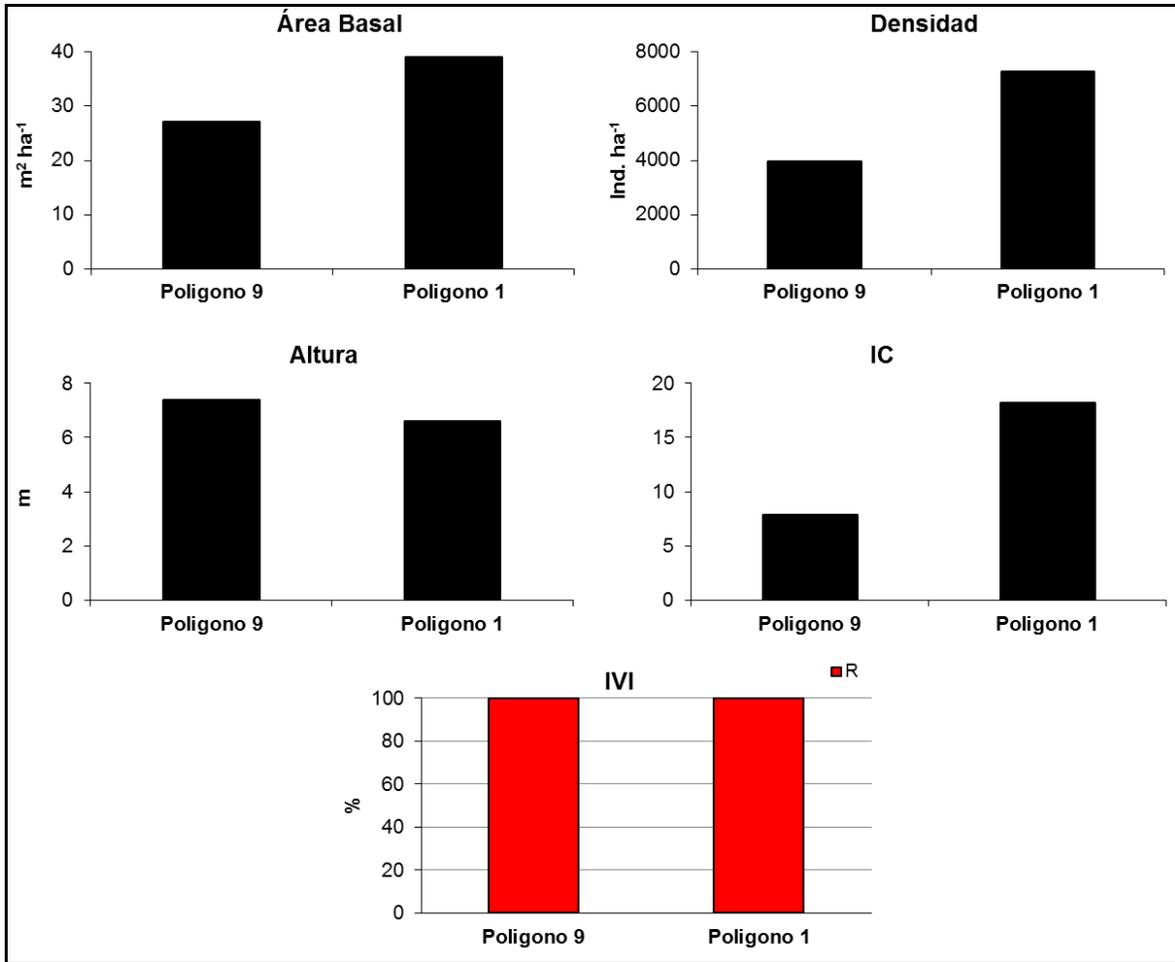


Figura 44. Variables estructurales de la localidad de Nichupté. *R. mangle* (R).

Puerto Morelos: Ceiba presenta árboles más anchos, lo que se traduce en un área basal mayor ($AB= 18.21 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), sin embargo, los árboles en el CID son un poco más altos ($A= 4.96 \text{ m}$). Esta altura promedio de alrededor 5 m es muy homogénea, probablemente debido a la incidencia de huracanes. A pesar de esto, Ceiba y CID tienen densidades semejantes ($D= 4,436$ y $4,402 \text{ ind ha}^{-1}$, respectivamente), lo cual influye en la complejidad estructural del ecosistema, observándose que el índice de complejidad es ligeramente mayor en Ceiba ($IC=8.95$) con respecto a CID ($IC=8.74$). De acuerdo con el índice de valor de importancia, Ceiba se encuentra dominado por *R. mangle* ($IVI= 52\%$) con presencia de *L. racemosa* y *C. erectus* con valores de importancia semejantes ($IVI=23$ y 25%), mientras que CID está dominado por *L. racemosa* y *C. erectus* ($IVI= 51\%$ y 46%) con escasos ejemplares de *R. mangle*, lo cual sugiere diferencias fisicoquímicas e hidrológicas entre ambos sitios (Fig. 45).

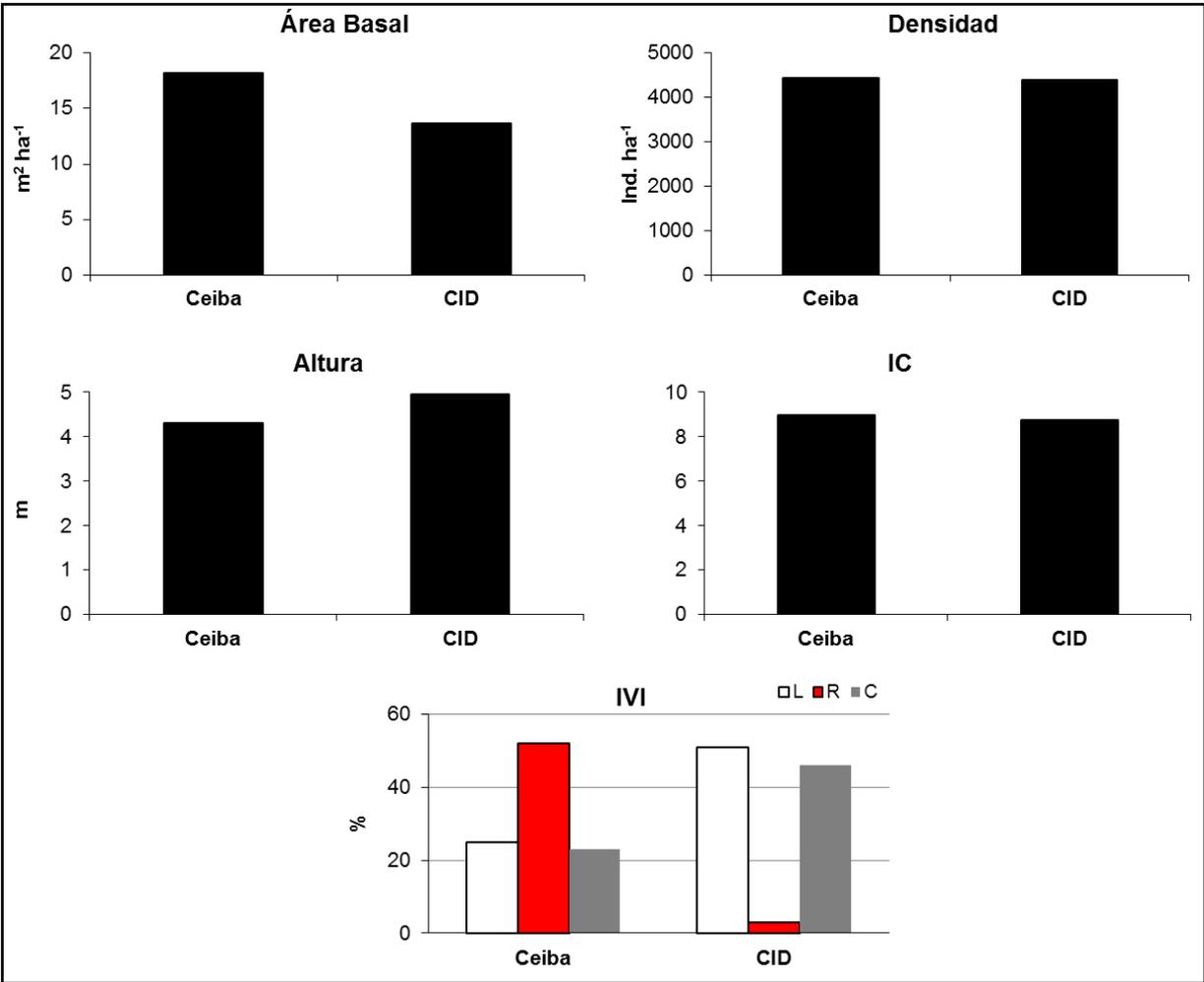


Figura 45. Variables estructurales de la localidad de Puerto Morelos. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *C. erectus* (C).

Mahahual: En la localidad de Mahahual se establecieron 4 sitios de caracterización y monitoreo, de los cuales Mahahual 4 presenta mayor área basal ($AB=5.18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con respecto a los sitios restantes. Sin embargo, Mahahual 3 tiene mayor número de individuos por hectárea ($D=6,500$), mientras que Mahahual 1 presenta árboles relativamente más altos ($A=1.9 \text{ m}$). Los manglares de Mahahual no alcanzan más de 2 m de altura debido a que corresponden al tipo de manglar chaparro, el cual es muy común en el estado de Quintana Roo. Con base en las características de estructura forestal, Mahahual 4 es el sitio que presenta mayor índice de complejidad estructural ($IC=3.94$). Es importante mencionar que el índice de valor de importancia es de 100% para *R. mangle* en los 4 sitios (Fig. 46). Un aspecto por destacar en estos sitios es que,

debido a la estructura de este manglar, no es posible mantener el esfuerzo de muestreo de parcelas tan grandes (20 x 20m).

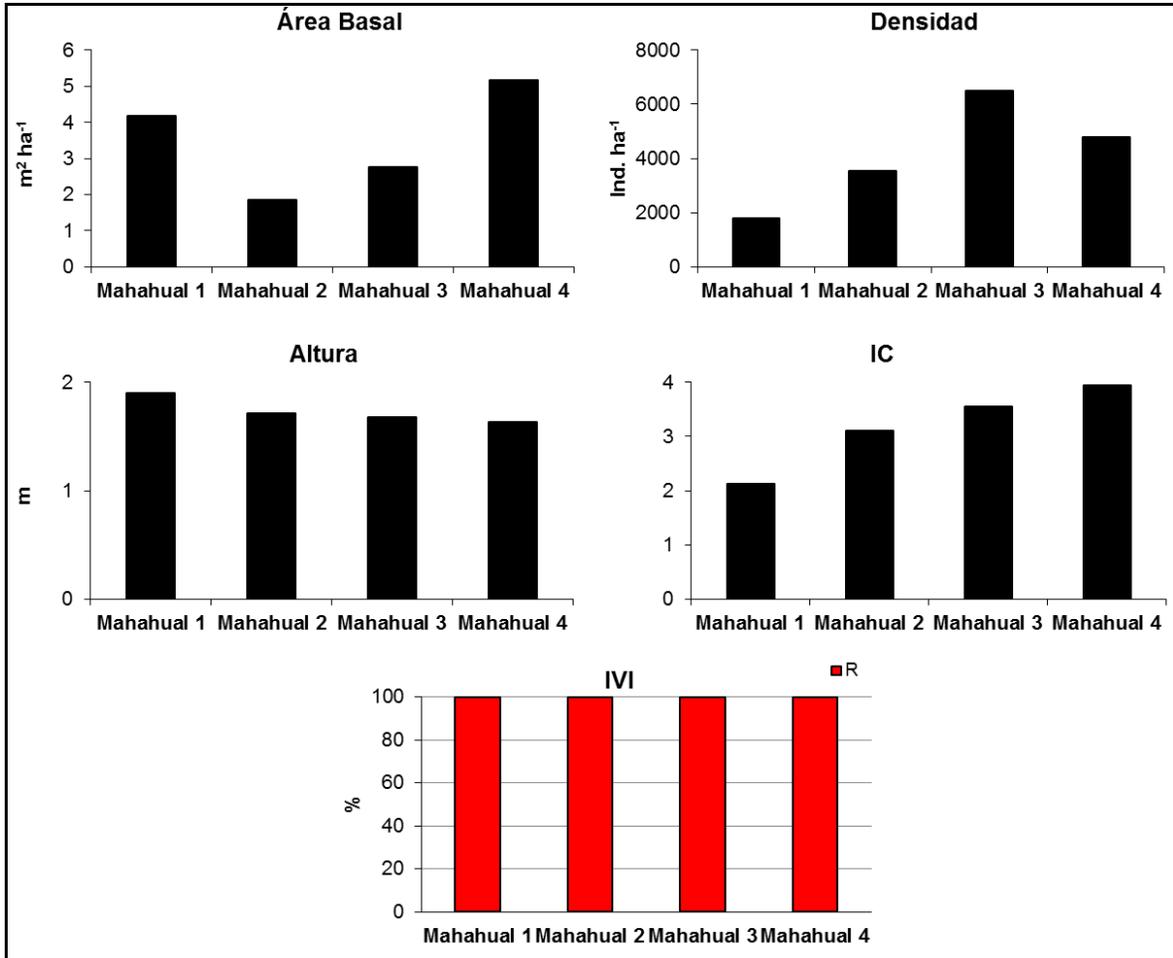


Figura 46. Variables estructurales de la localidad de Mahahual. *R. mangle* (R).

Chetumal: El área basal de los árboles es igual para los sitios de Río Hondo y Tamalcab ($AB= 24.1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Sin embargo, Río Hondo tiene una mayor densidad de individuos ($D=1,558 \text{ ind ha}^{-1}$) mientras que Tamalcab tiene árboles con mayor altura ($A=9.7 \text{ m}$). Tomando en cuenta las variables estructurales anteriores, se obtuvo que Río Hondo y Tamalcab presentan índices de complejidad semejantes ($IC= 6.53$ y 6.78 , respectivamente). Es importante destacar que en Río Hondo se registró la presencia de 2 especies características de selva mediana, una de las cuales domina en el sitio ($IVI= 54\%$) coexistiendo con *R. mangle* y *C. erectus*. En Tamalcab se registró la

presencia de las 3 especies de manglar, de las cuales resultó dominante *R. mangle* (IVI= 75%) (Fig. 47).

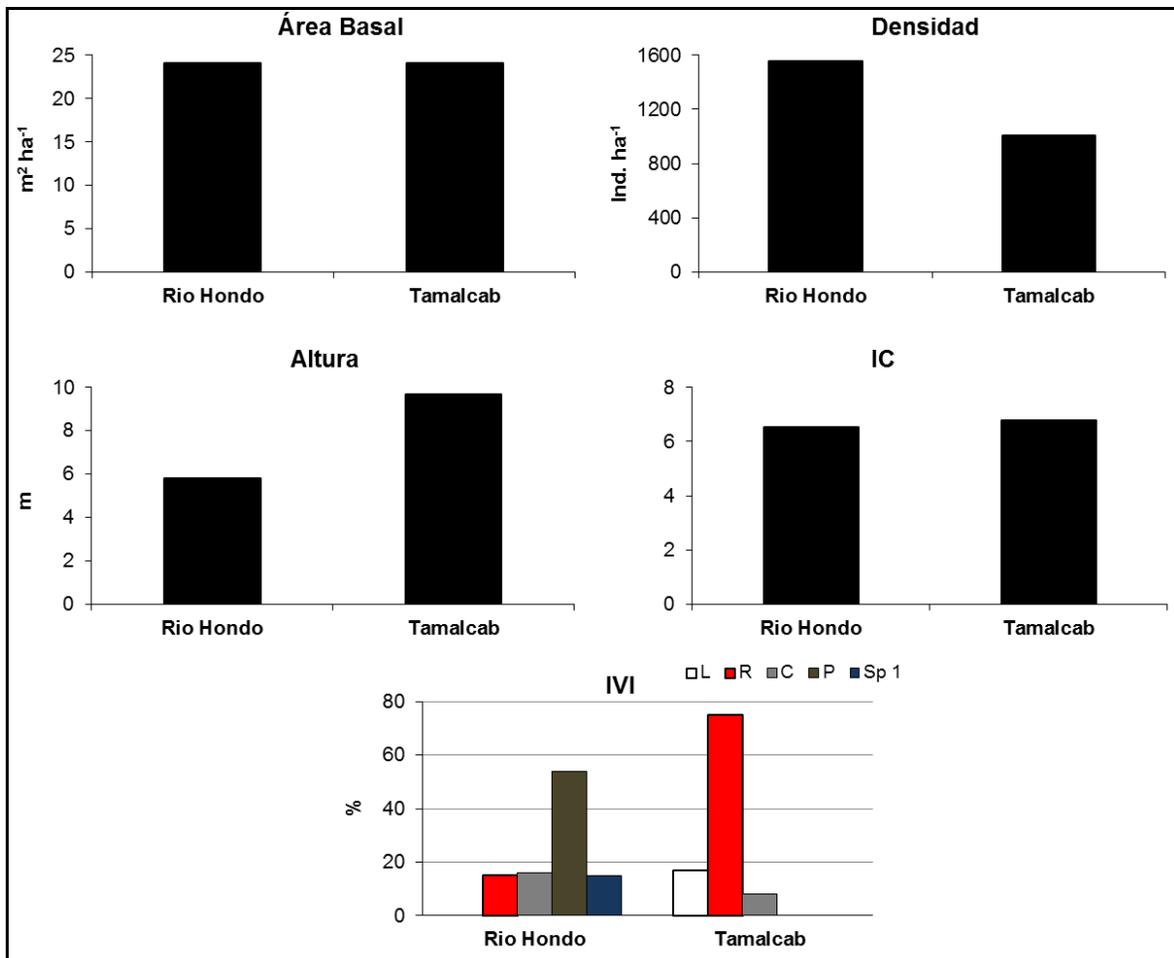


Figura 47. Variables estructurales de la localidad de Chetumal. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *C. erectus* (C), *Pachira* sp. (P) y Especie no identificada (Sp1). Las dos últimas corresponden a especies de selva mediana.

Regeneración

La densidad de plántulas y juveniles refleja la capacidad de regeneración o repoblamiento natural de un bosque. Esta capacidad de recuperación es una variable sensible a la temporalidad de los datos ya que está relacionada con la fenología de las plantas, especialmente con el periodo de producción y caída de semillas, por lo cual la fecha de muestreo debe ser tomada en cuenta al realizar comparaciones entre localidades.

Celestún: El sitio Puente presenta mayor densidad de plántulas (144 ind. m⁻²) con respecto a Interna y Boca (68 y 79 ind. m⁻², respectivamente). Sin embargo, la zona Interna presenta mayor densidad de juveniles (58 ind. ha⁻¹). Esto podría estar asociado a la “dinámica de claros” (Fig. 48).

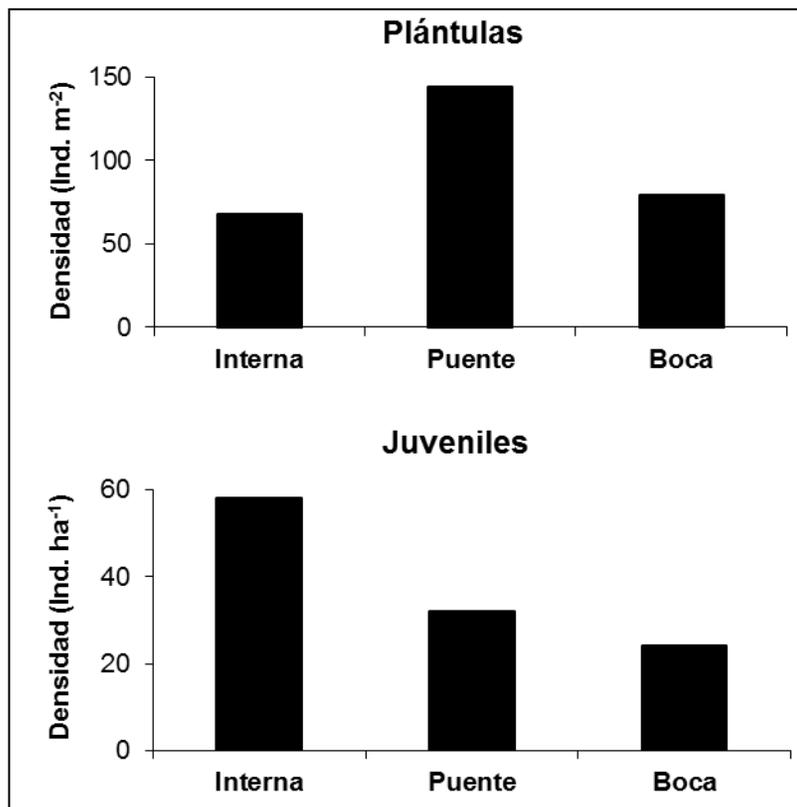


Figura 48. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Celestún.

Sisal: La densidad de plántulas es mayor en Pecis I (45 ind. m⁻²) con respecto a Pecis II (38 ind. m⁻²), observando que la densidad de juveniles tiene el mismo comportamiento: 59 ind. ha⁻¹ para Pecis I y 44 ind. ha⁻¹ para Pecis II. El hecho de que Pecis I presente mayor densidad de plántulas y juveniles puede ser reflejo de su exposición a los aportes ricos en nutrientes y materia orgánica de la ex camaronera (Fig. 49).

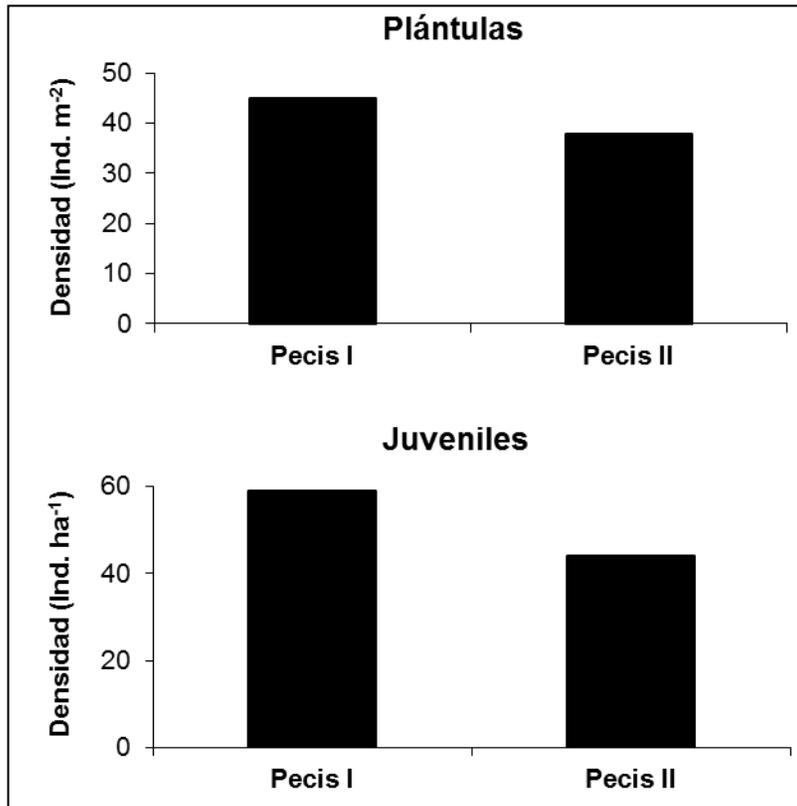


Figura 49. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Sisal.

Progreso: Chelem II presenta mayor densidad de plántulas (217 ind. m⁻²) y de juveniles (ind. ha⁻¹) con respecto a los otros sitios de la localidad de Progreso. Por el contrario, Chelem I presenta menos plántulas y juveniles (54 ind m⁻² y 3 ind ha⁻¹, respectivamente). Lo anterior podría estar estrechamente relacionado con la dinámica que ocurre dentro del ecosistema (Fig. 50).

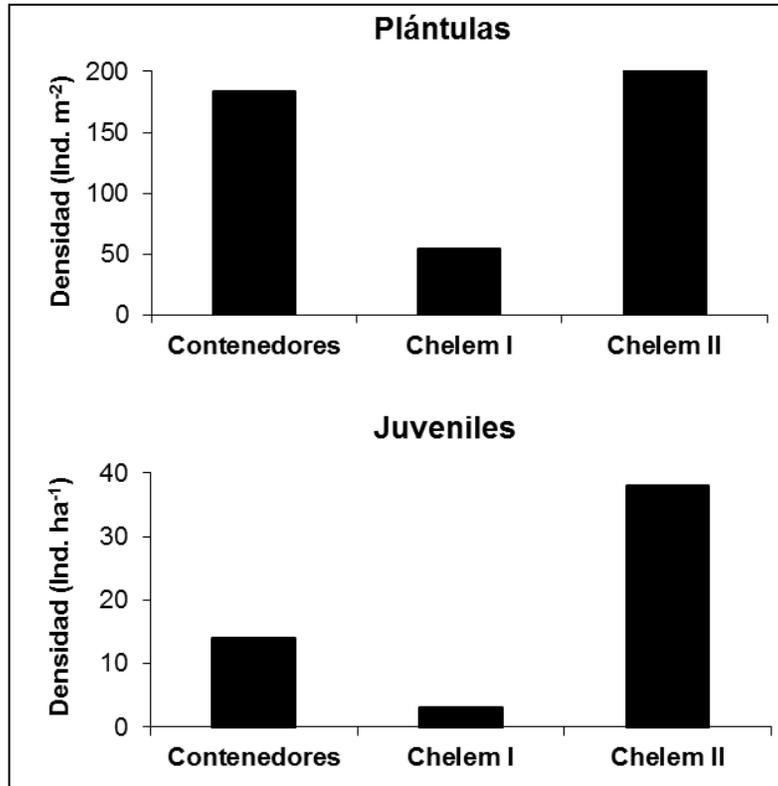


Figura 50. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Progreso.

Dzilam: En los sitios localizados en Dzilam se observó que la densidad de plántulas es mayor en Elepeten (328 ind m^{-2}) con respecto a Pueblo (31 ind m^{-2}). A pesar de que la densidad de juveniles tiene el mismo comportamiento, la diferencia entre los sitios no es tan grande, ya que Elepeten tiene una densidad de 7 ind ha^{-1} mientras que Pueblo presenta 5 ind ha^{-1} . Sin embargo, estos son valores bajos comparados con otras localidades caracterizadas, lo cual podría ser indicativo de algún tipo de perturbación. Mayor número de sitios dentro de la localidad podría aportar información de las posibles causas de estas diferencias. Sin embargo, este objetivo está fuera del contexto de los alcances de este proyecto (Fig. 51).

Río Lagartos: La densidad de plántulas en los sitios de Río Lagartos y El Cuyo es igual (5 ind m^{-2}), mientras que la densidad de juveniles es de 2 ind ha^{-1} para Río Lagartos y 1 ind ha^{-1} para El Cuyo. Estas bajas densidades indican que la capacidad de reclutamiento es pobre en la zona a pesar de formar parte de un área natural protegida. Sin embargo, hay que tomar en cuenta la temporalidad del muestreo de esta localidad para su caracterización (Fig. 52).

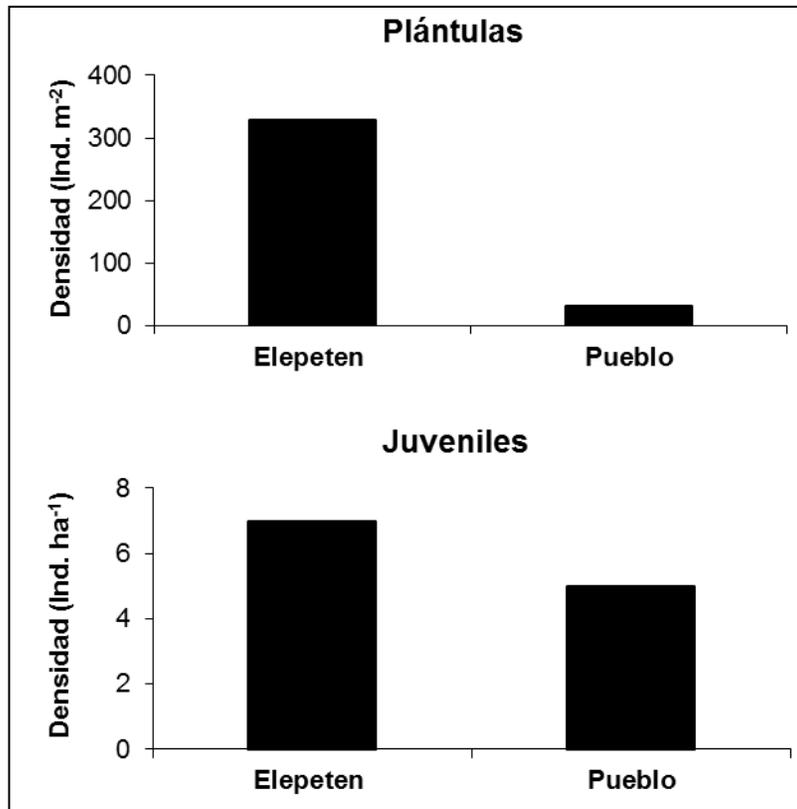


Figura 51. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Dzilam.

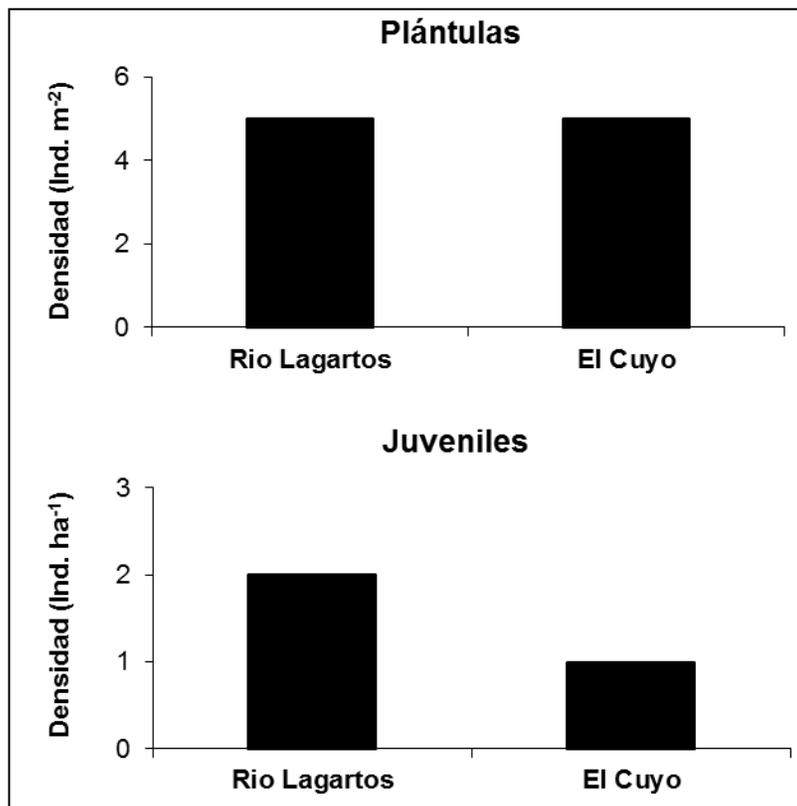


Figura 52. Densidad de plántulas y juveniles de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: La densidad de plántulas es mayor en Polígono 9 (5 ind m⁻²) que en Polígono 1 (3 ind m⁻²), siendo en ambos casos densidades bajas. Esta es una localidad sujeta a perturbaciones naturales (huracanes) y antrópicas (cambio de uso del suelo). No se observó presencia de juveniles en ninguno de los dos sitios (Fig. 53).

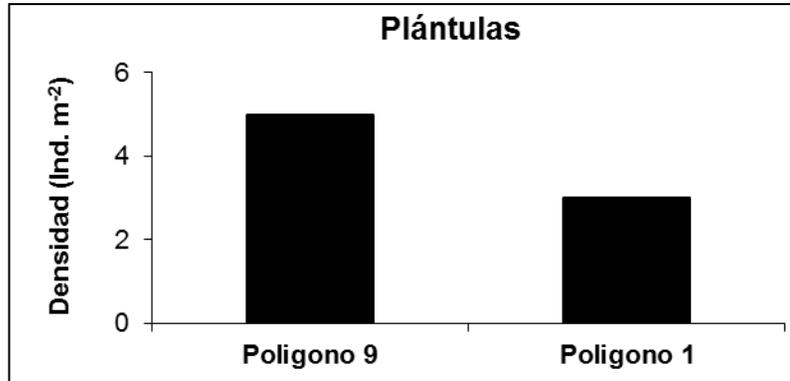


Figura 53. Densidad de plántulas de la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: En la localidad de Puerto Morelos, el sitio Ceiba presenta mayor densidad de plántulas y juveniles (48 ind m⁻² y 528 ind ha⁻¹, respectivamente) con respecto al sitio CID (20 ind m⁻² para plántulas y 174 ind ha⁻¹ para juveniles). En este sentido, es importante destacar la importancia de fenología de las especies que dominan en cada uno de los sitios (Fig. 54).

Mahahual: El sitio Mahahual 2 presenta mayor densidad de plántulas (23 ind m⁻²) con respecto a los otros sitios, y Mahahual 3 tiene menor número de plántulas por área (15 ind m⁻²). Para la fecha de la caracterización no se identificaron individuos juveniles en ninguno de los sitios. Es importante destacar que en todos los sitios se observa la presencia de manglar de tipo chaparro de *R. mangle*. Las diferencias no pueden ser establecidas por el número de réplicas. Sin embargo, cabe señalar que esta localidad es parte de un humedal que se extiende desde Chetumal hasta la Reserva de Sian Ka'an, por lo que probablemente el principal controlador de las diferencias sea la hidrología (Fig. 55).

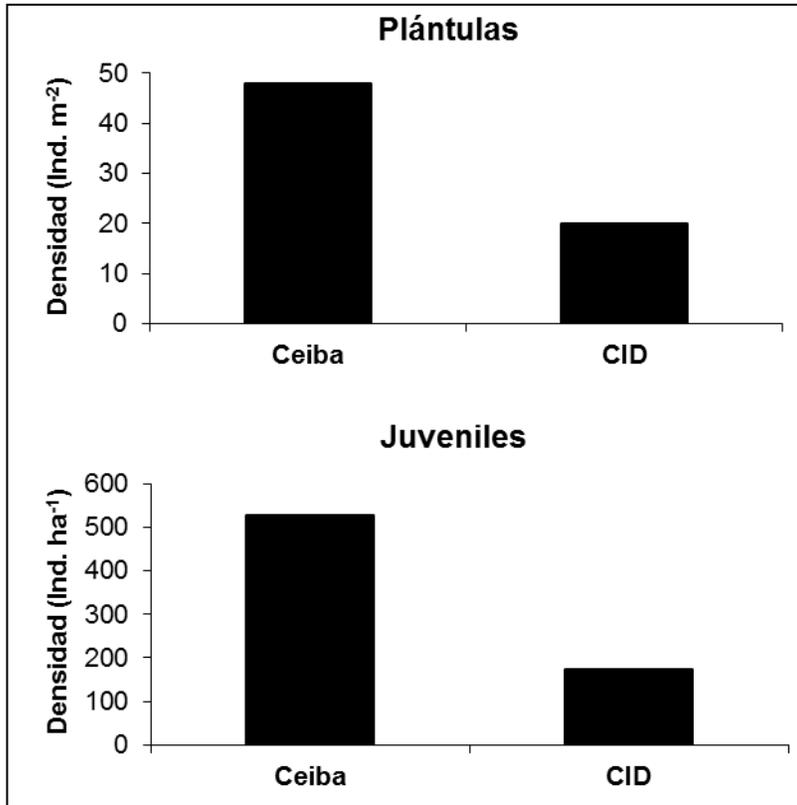


Figura 54. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Puerto Morelos.

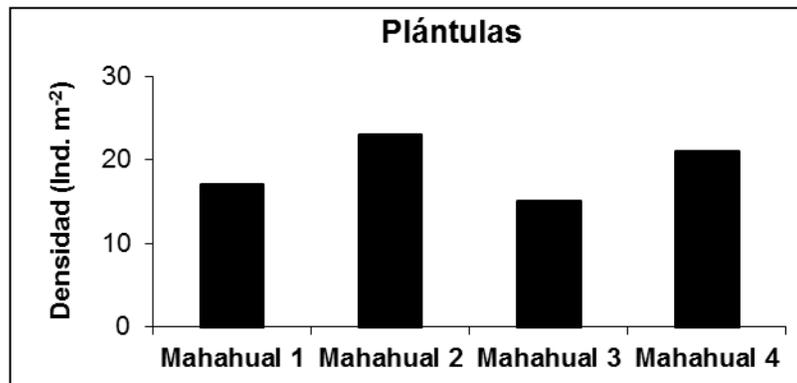


Figura 55. Densidad de plántulas de la localidad de Mahahual.

Chetumal: El sitio Tamalcab presenta mayor densidad de plántulas (28 ind m⁻²) con respecto a Río Hondo (21 ind m⁻²), comportamiento semejante a lo que se observa para la densidad de juveniles de manglar, donde Río Hondo tiene 238 ind ha⁻¹ mientras que Tamalcab presenta 273 ind ha⁻¹. Es importante mencionar que Tamalcab está dominado por *R. mangle*, mientras que Río Hondo cuenta con la presencia de otras especies de selva mediana, las cuales pueden estar compitiendo con las especies características de manglar y originando las diferencias observadas. Por otro lado, la capacidad de regeneración está asociada a la presencia de bosques maduros que presentan áreas basales e índices de complejidad altos (Fig. 56).

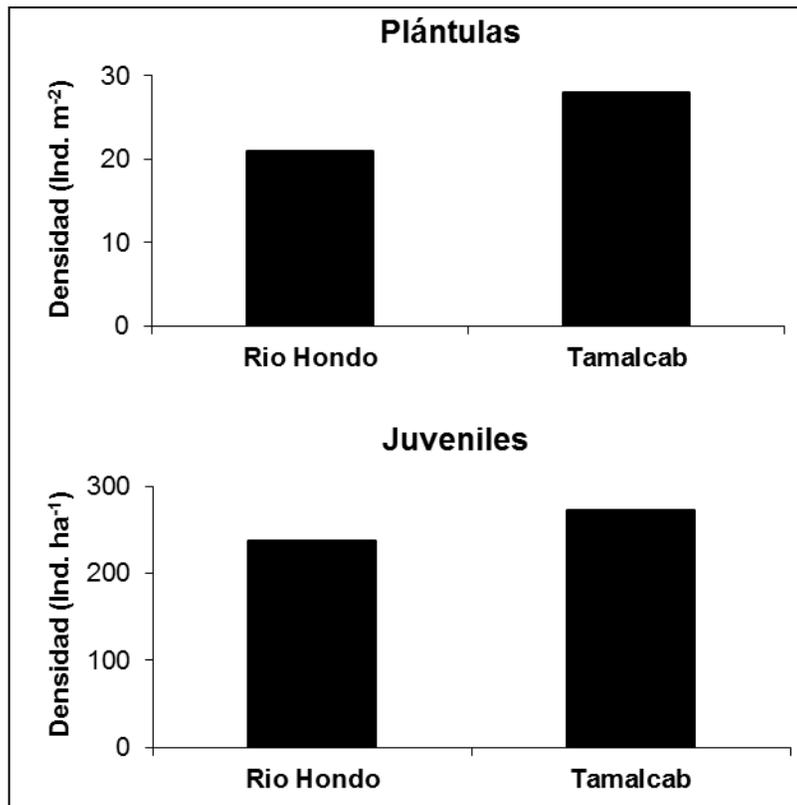


Figura 56. Densidad de plántulas y juveniles de la localidad de Chetumal.

Comparación entre caracterización inicial y final

1. Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total

Los sedimentos en los manglares de la PY son autóctonos, es decir se producen en el mismo sitio, por lo tanto, sus características dependen de los procesos mismos que ocurren dentro del ecosistema, por ejemplo, el contenido de materia orgánica está relacionado con los aportes, mientras que la densidad aparente es un reflejo de la hidrología, geología y biología del sitio, los cuales varían de manera espacial y temporal.

Densidad y contenido de materia orgánica

Celestún: En la localidad de Celestún, en 2015 el sitio Puente cuenta con sedimentos más densos (0.369 g/cm^3) con respecto a los sitios Interna y Boca (0.223 y 0.287 g/cm^3 , respectivamente). En 2017, se identifica una disminución en la densidad en los tres sitios pasando a 0.29 g/cm^3 , 0.25 g/cm^3 y 0.18 g/cm^3 en Puente, Boca e Interna, respectivamente, conservando el patrón inicial de que Puente cuenta con sedimentos más densos. Por otra parte, en 2015 el contenido de materia orgánica en el sitio Interna presenta el mayor porcentaje (47.5%), en 2017 este se incrementa a 51.1%, mientras que en Puente sube a 40%, en Boca disminuye a 39.9% en este mismo año (Fig. 57).

Sisal: De manera general el sitio Pecis I presenta suelo más denso con respecto a Pecis II, a pesar de que en el primer sitio la densidad aparente del sedimento disminuyó de 0.85 a 0.83 g/cm^3 y en el segundo se produjo un incremento de 0.59 a 0.65 g/cm^3 . Conservando la relación inversa que existe entre densidad y materia orgánica, Pecis I presenta suelos con menor contenido de materia orgánica en ambos años con respecto a Pecis II, registrándose en este último una disminución de 19.28 a 18.91% (Fig. 58).

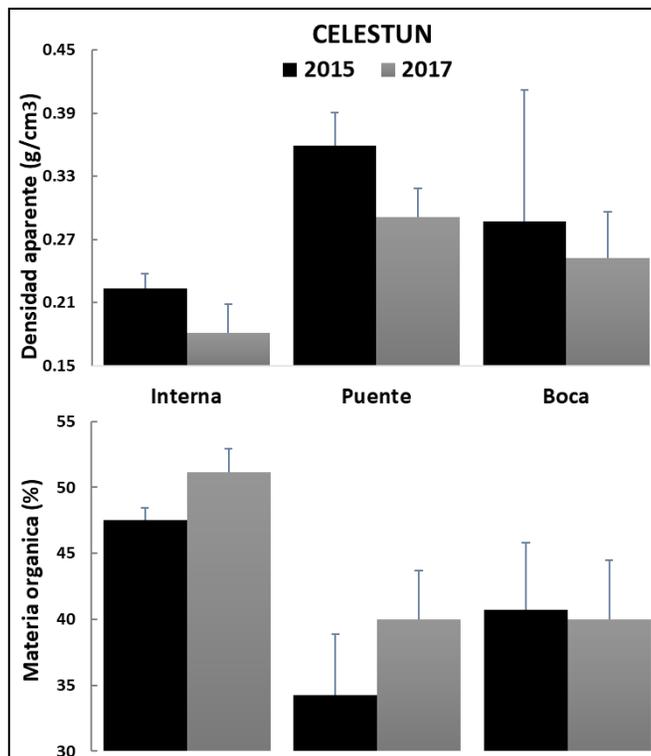


Figura 57. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Celestún en 2015 y 2017.

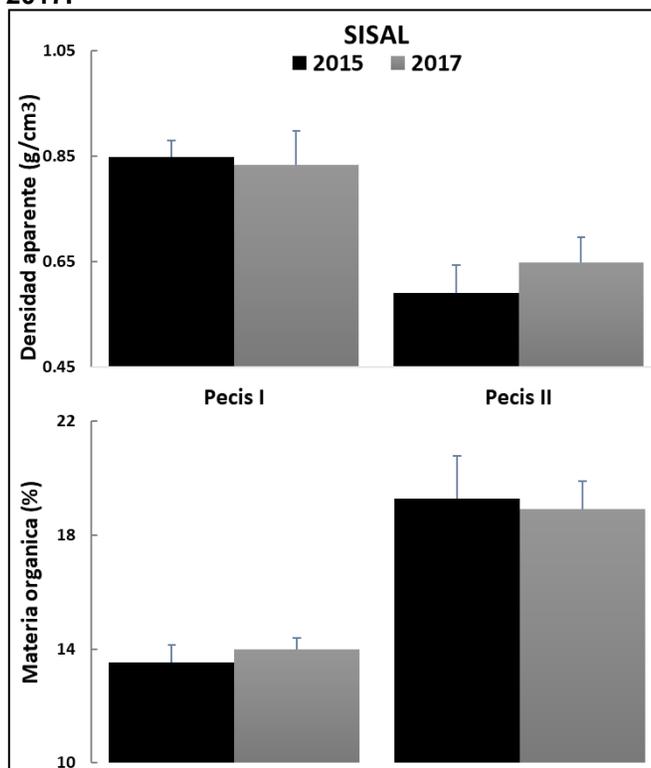


Figura 58. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Sisal en 2015 y 2017.

Progreso: En la localidad de Progreso, el sitio Chelem I presenta sedimentos más densos que Contenedores y Chelem II en ambos años. De 2015 a 2017 se observan disminuciones de 0.36 a 0.16 g/cm³ en Contenedores y de 0.76 a 0.72 g/cm³ en Chelem I, mientras que en Chelem II se registra un incremento de 0.29 a 0.33 g/cm³. Por otra parte, con respecto a los sitios, Contenedores presenta mayor contenido de materia orgánica en ambos años (36.72 y 39.26% en 2015 y 2017, respectivamente) registrándose una disminución en Chelem I de 27.13 a 22.13% y un incremento en Chelem II de 19.82 a 20.90% (Fig. 59).

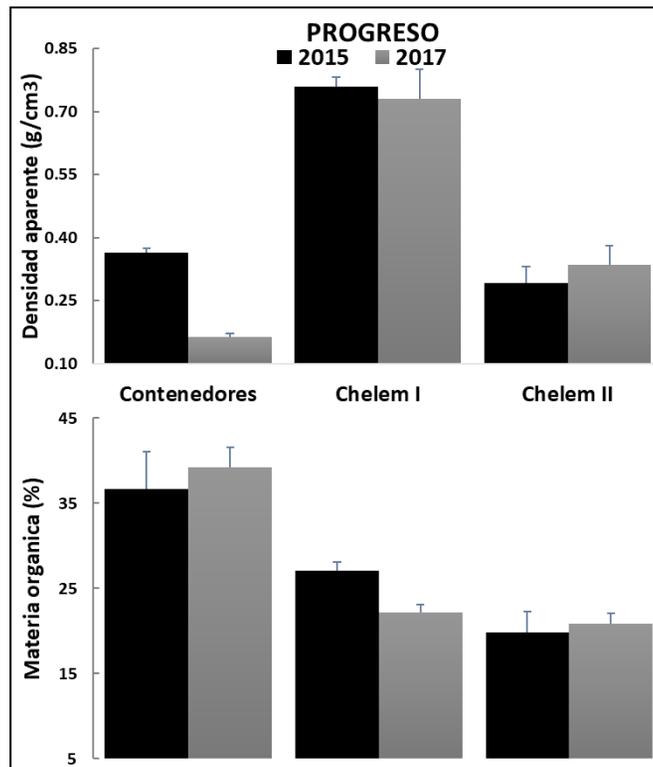


Figura 59. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Progreso en 2015 y 2017.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el sitio Pueblo presenta sedimentos con mayor densidad aparente (0.93 y 0.48 g/cm³ en 2015 y 2017, respectivamente) que los de Elepeten (0.31 y 0.34 g/cm³ para los mismos años). El contenido de materia orgánica es mayor en Elepeten (22.65%) en 2015, mientras que en 2017 ambos sitios presentan valores similares (21.22 y 21.47%) (Fig. 60).

Río Lagartos: El sitio El Cuyo presenta densidad aparente del sedimento más alta (0.72 g/cm³ y 0.67 g/cm³) en 2015 y 2017 con respecto a Río Lagartos (0.14 g/cm³ y 0.19 g/cm³, respectivamente). Por otra parte, el contenido de materia orgánica en Río Lagartos es más alta con respecto a El Cuyo. Esta variable sufrió un cambio de 48.8% a 47.2% de 2015 a 2017 en Río Lagartos, mientras que en El Cuyo se incrementó de 8.7% en 2015 a 9.4% en 2017. En este sitio se observa claramente la relación densidad/MO: sedimentos con baja densidad suelen ser suelos con mayor contenido de material orgánico (Fig. 61).

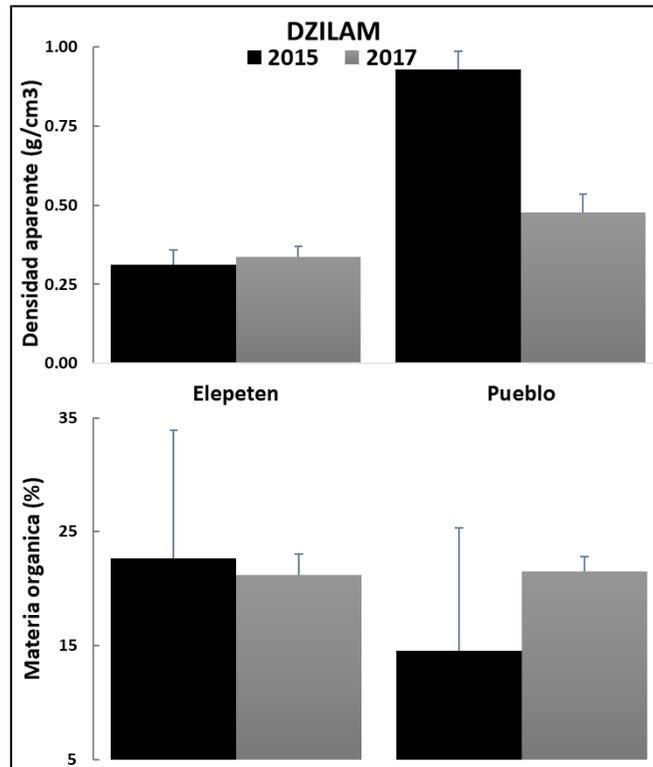


Figura 60. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Dzilam en 2015 y 2017.

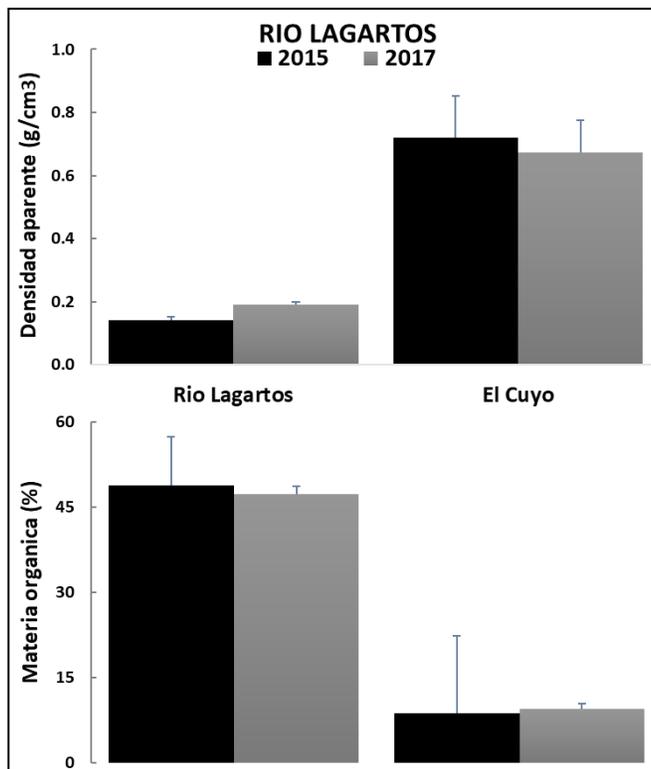


Figura 61. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Río Lagartos en 2015 y 2017.

Nichupté: Las condiciones son diferentes entre Polígono 9 y Polígono 1. En 2015, Polígono 1 presenta mayor densidad del sedimento (0.36 g/cm^3) con respecto a Polígono 9 (0.15 g/cm^3). En 2017, en el primer sitio esta densidad disminuye a 0.28 g/cm^3 y en el segundo se incrementa a 0.22 g/cm^3 . Tomando en cuenta que el contenido de materia orgánica en el sedimento tiene una relación inversa con la densidad, Polígono 9 pasó de tener 58.4% de materia orgánica en 2015 a 48.5% en 2017, mientras que Polígono se incrementó de 37.6% a 40.1% de 2015 a 2017 (Fig. 62).

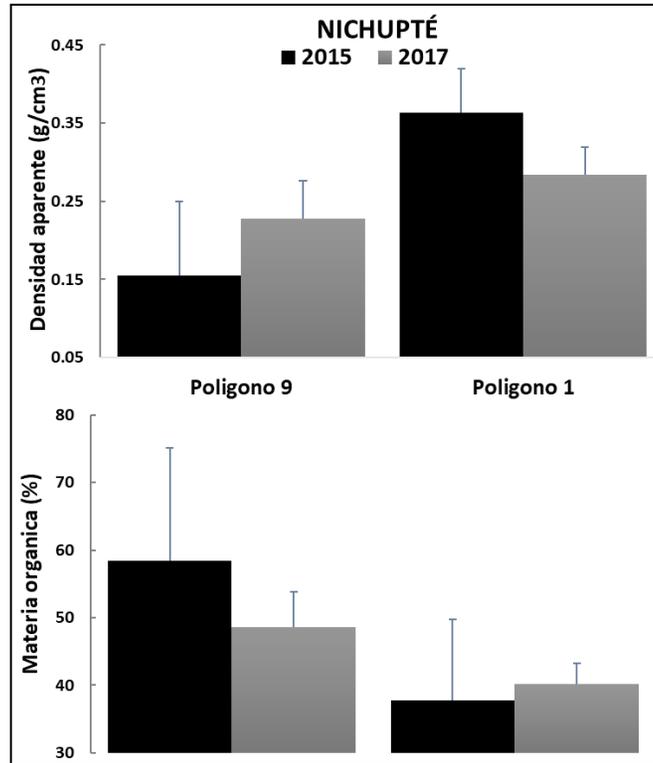


Figura 62. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Nichupté en 2015 y 2017.

Mahahual: En 2015 el sitio 4 presenta mayor densidad aparente del sedimento (0.39 g/cm³) con respecto a los otros sitios en esta localidad. Para 2017, Mahahual 1 y Mahahual 3 incrementaron la densidad del sedimento, mientras que Mahahual 2 y Mahahual 4 disminuyeron. Sin embargo, este último sitio siguió conservando el valor más alto con 0.38 g/cm³. El contenido de materia orgánica más alto registrado para esta localidad fue registrado en Mahahual 3 (54.93%) en 2015, sufriendo todos los sitios una disminución en la materia orgánica del sedimento para 2017. Estos cambios se relacionan con la dinámica de producción, acumulación y exportación (Fig. 63).

Chetumal: Dentro de la localidad de Chetumal, en 2015 Tamalcab presentó mayor densidad aparente del sedimento (0.39 g/cm³) que Río Hondo (0.31 g/cm³). En 2017 la situación se invierte registrándose 0.36 g/cm³ en Río Hondo y 0.31 g/cm³ en Tamalcab. Por otra parte, el contenido de materia orgánica en los sedimentos de Río Hondo disminuyó de 38.72% a 18.70% de 2015 a 2017, mientras que en Tamalcab se

mantuvo (25.19%). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la dinámica del río y sus interacciones con el ecosistema (Fig. 64).

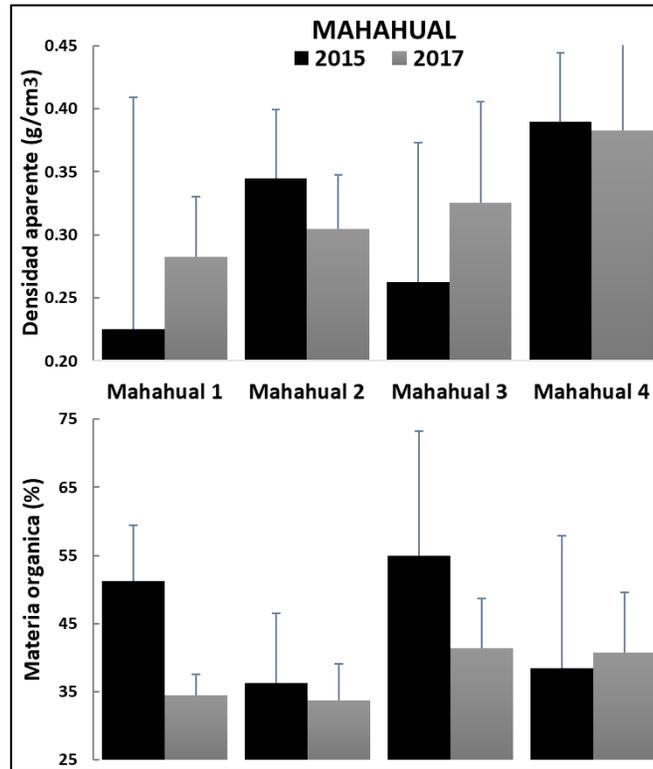


Figura 63. Comparación de densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Mahahual en 2015 y 2017.

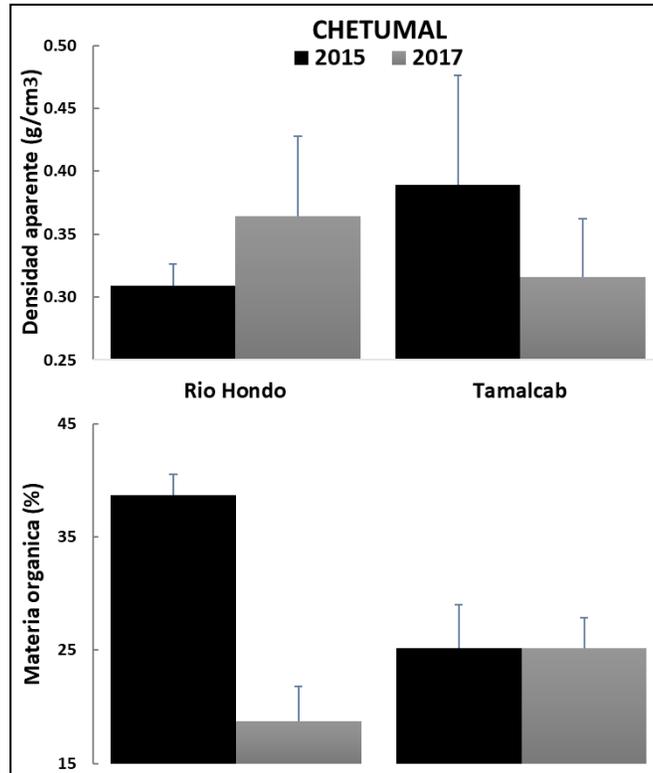


Figura 64. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de Chetumal.

Nutrientes en sedimentos

El análisis de las características del sedimento y especialmente del contenido de nutrientes permite discernir entre los factores (recursos y estresores) que pueden ser limitantes o favorecer el desarrollo de la vegetación en el área de interés.

Celestún: El contenido de fósforo en 2015 fue más alto en la zona Interna (0.142%). Cabe mencionar que en 2017 el fósforo disminuyó en todos los sitios, siendo este año Puente donde se registró el valor más alto (0.102%). Por otro lado, el sitio Interna en 2015 tiene mayor contenido de nitrógeno (NT=0.862%) con respecto a Puente (0.681%) y Boca (0.464%). En 2017 el nitrógeno total disminuye a 0.756% mientras que en Puente se incrementa a 0.889% y en Boca a 0.520%. De manera general se observan más nutrientes en la zona Interna que en la zona Boca, presentándose así un gradiente espacial (Fig. 65).

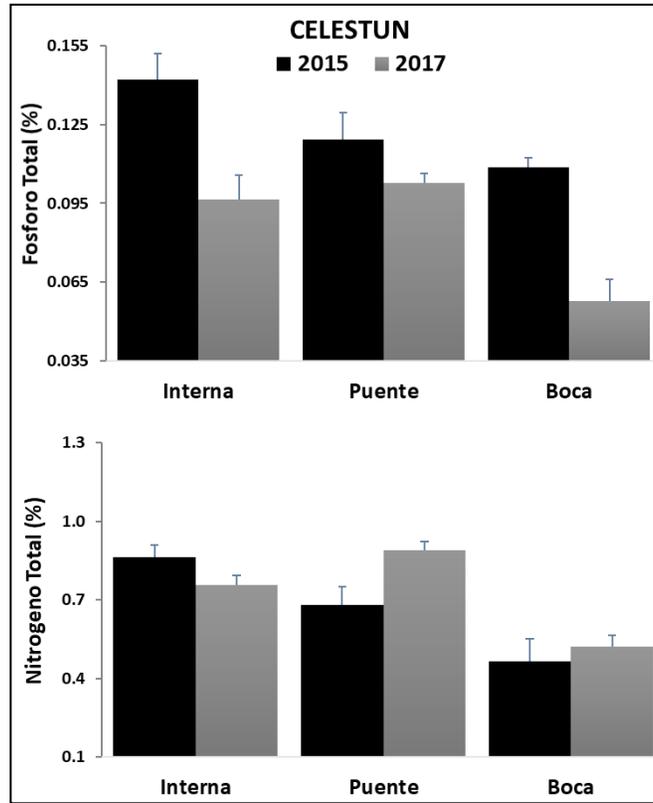


Figura 65. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, el fósforo total es mayor en Pecis II en 2015 (0.138%) con respecto a lo encontrado en Pecis I (0.115%). En 2017, el contenido disminuye en ambos sitios, sin embargo, Pecis II sigue conservando el valor más alto (0.121%). Con respecto al NT, el sitio Pecis II presenta mayor concentración de nitrógeno total tanto en 2015 como en 2017 (0.531% y 0.628%) con respecto a Pecis I (0.241% y 0.229% en 2015 y 2017, respectivamente). (Fig. 66).

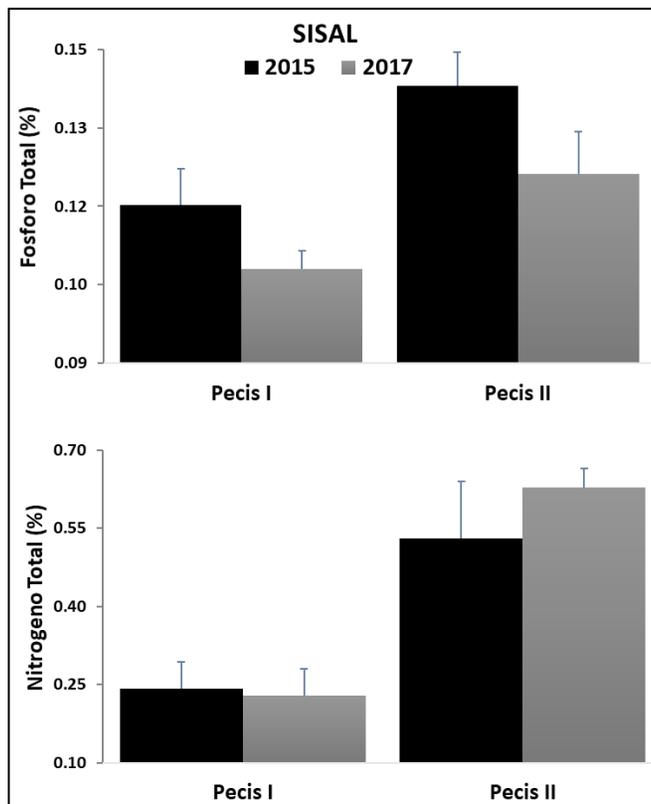


Figura 66. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal.

Progreso: En 2015 el contenido de fósforo en Contenedores es más alto (0.087%) con respecto a los otros sitios. En 2017 el valor más alto (0.082%) corresponde a Chelem II. Por otra parte, en 2015 el sitio Contenedores posee una mayor cantidad de nitrógeno en sedimento (0.458%) con respecto a Chelem I y Chelem II. En 2017, Contenedores y Chelem I disminuyeron su contenido, mientras que en Chelem II se incrementó a 0.376%, siendo este el valor más alto registrado para ese año en esta localidad (Fig. 67).

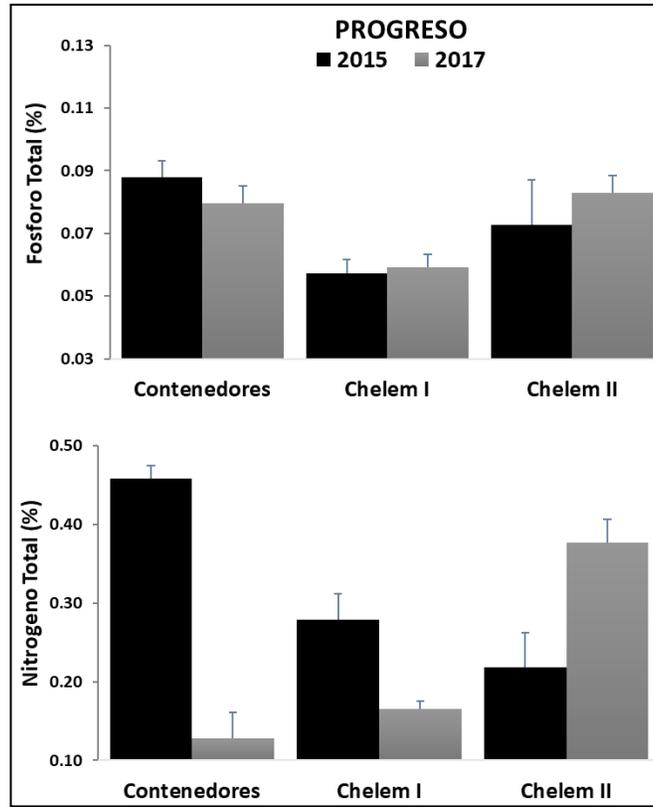


Figura 67. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, en 2015 el contenido de fósforo total es más alto en Pueblo (0.125%) que en Elepeten (0.108%). En 2017 el patrón se mantiene a pesar de que en ambos sitios el fósforo disminuyó a 0.119% y 0.092%, respectivamente. En cuanto a nitrógeno total, el sitio Pueblo tiene mayor concentración (0.738%) que el sitio Elepeten (0.488%) en 2015. En 2017, en el primero disminuye y en el segundo incrementa, presentando ambos valores similares (~0.550%) (Fig. 68).

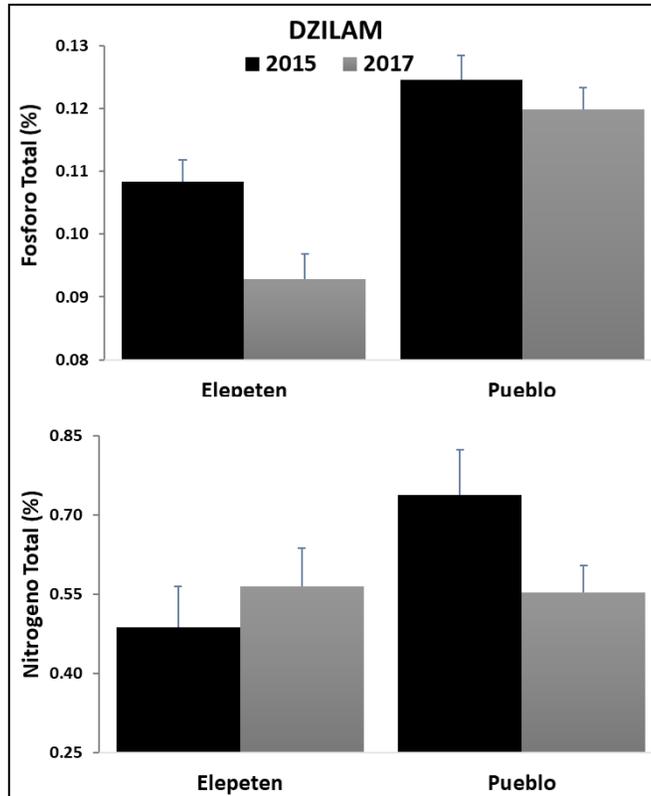


Figura 68. Nutrientes en sedimentos de manglar en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: El Cuyo presenta un mayor porcentaje de fósforo total (0.154%) que Río Lagartos (0.126%) en 2015. En 2017 ambos sitios presentan 0.121% de fósforo. Por otra parte, el sitio Río Lagartos presenta un mayor contenido de nitrógeno total (1.086%) con respecto a El Cuyo (0.789%) en 2015. En 2017, el contenido de nitrógeno en sedimento se incrementa en ambos sitios (1.20% y 1.01%, respectivamente) (Fig. 69).

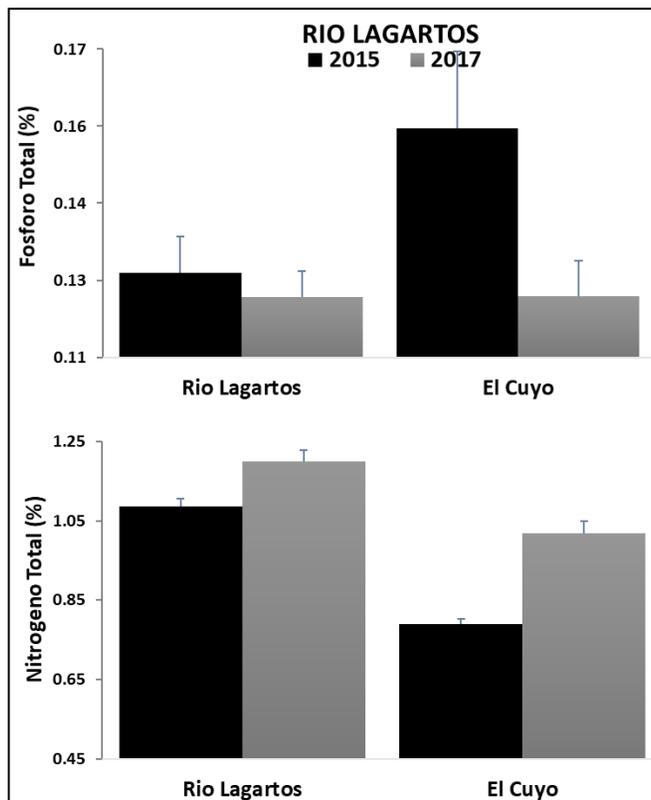


Figura 69. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En 2015, el sitio Polígono 9 presenta valores más altos de nitrógeno y fósforo (NT=1.843% y PT=0.144%) que Polígono 1 (NT=1.491% y PT=0.125%). En 2017, el fósforo se incrementa a 0.148% en Polígono 1 y disminuye a 0.059% en Polígono 9, mientras que el nitrógeno disminuyó en ambos sitios (0.914% y 1.367%, respectivamente) (Fig. 70).

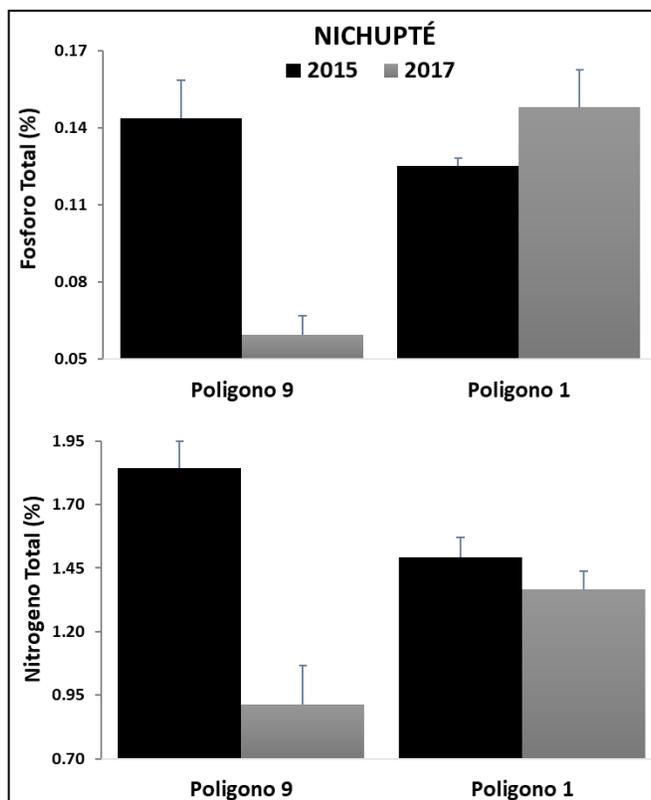


Figura 70. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Nichupté.

Mahahual: En la localidad de Mahahual, en 2015 el sitio Mahahual 2 presenta mayor cantidad de fósforo y nitrógeno (0.144% y 1.574%, respectivamente) con respecto a los otros sitios. En 2017 las mayores concentraciones de fósforo se presentaron en Mahahual 1 (0.105%), mientras que las de nitrógeno más altas se mantuvieron en Mahahual 2 (1.301%) a pesar de que estas variables disminuyeron en la mayoría de los sitios de un año a otro (Fig. 71).

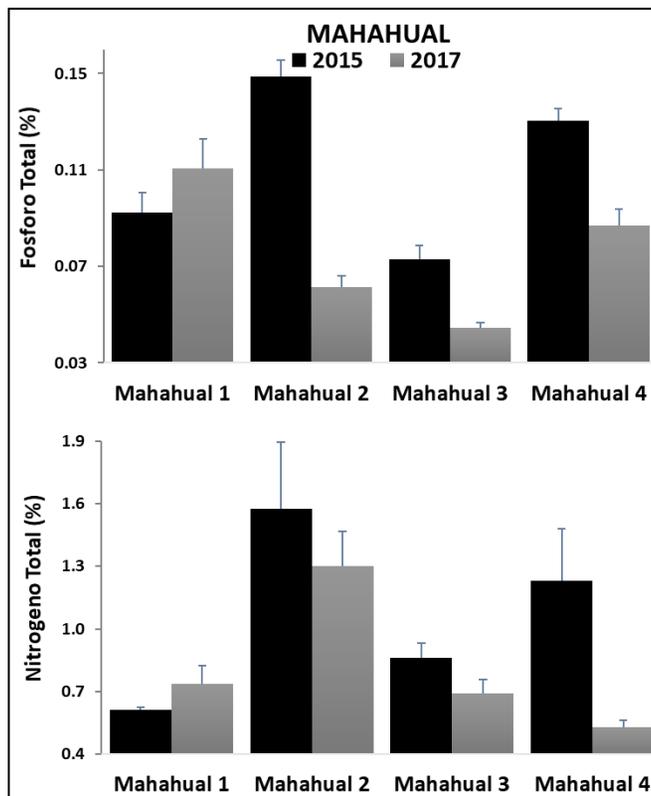


Figura 71. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Mahahual.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, el fósforo y el nitrógeno totales disminuyeron en ambos sitios de un año a otro. En 2015 Río Hondo presenta 0.125% de fosforo total mientras que Tamalcab tiene 0.123%. En 2017 estos valores cambian a 0.034% y 0.076%, respectivamente. Por su parte, Río Hondo muestra mayor concentración de nitrógeno total en sedimento (1.922%) con respecto a Tamalcab (1.116%) en 2015. En 2017 estos valores disminuyen considerablemente a 0.248% y 0.453% (Fig. 72).

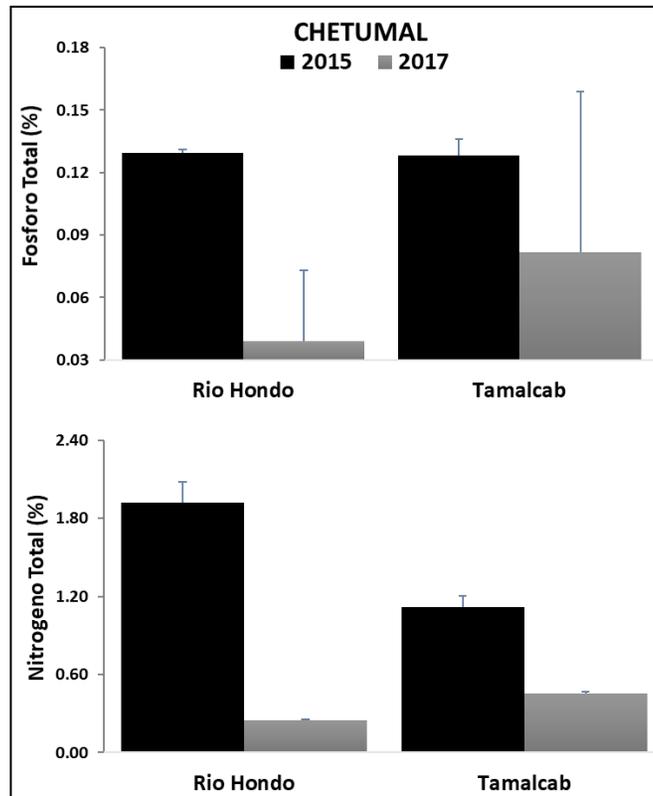


Figura 72. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal.

2. Características del agua: salinidad, pH y Redox

Salinidad intersticial

La salinidad es un factor que determina la forma en la vegetación se distribuye. Sin embargo, esta variable está relacionada directamente con la hidrología de la zona, la cual cambia a través del tiempo.

Celestún: En 2015 Interna, Puente y Boca presentan salinidades intersticiales de 21.45, 35.90 y 49.28 g/kg, respectivamente. En 2017, estos valores cambian a 21.42 g/kg, 34.43 g/kg y 45.20 g/kg, respectivamente, manteniendo el gradiente de menor salinidad en la parte interna a mayor salinidad en la boca (Fig. 73).

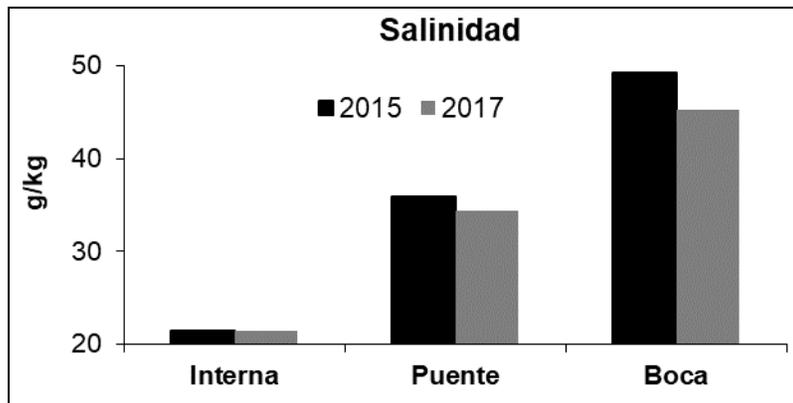


Figura 73. Salinidad intersticial de la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, en 2015 Pecis II presenta mayor salinidad intersticial promedio (45.35 g/kg) con respecto al sitio Pecis I (33.28 g/kg). Este patrón se mantiene en 2017 (Pecis II: 39.20 g/kg y Pecis I: 29.57) a pesar de que en ambos sitios la salinidad promedio disminuyó (Fig. 74).

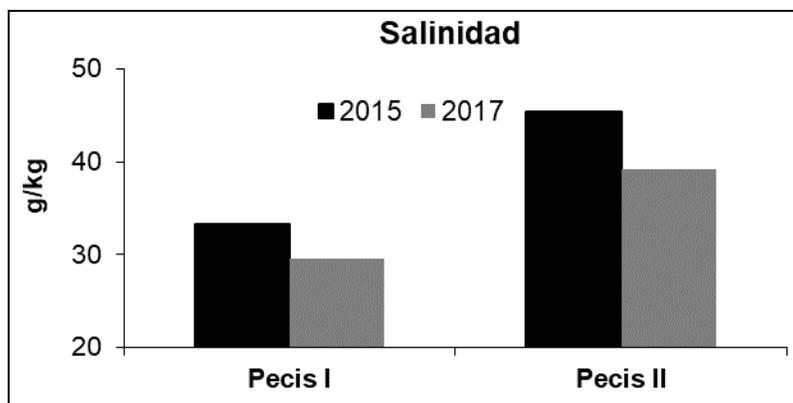


Figura 74. Salinidad intersticial de la localidad de Sisal.

Progreso: En 2015 en la localidad de Progreso el sitio Chelem I presenta mayor salinidad (68.65 g/kg) con respecto a los otros sitios (59.18 g/kg para Chelem II y 46.48 g/kg para Contenedores). En 2017, la salinidad del agua intersticial disminuye, quedando en 44.03 g/kg, 55.05 g/kg y 52.97 g/kg en Contenedores, Chelem I y Chelem II, respectivamente (Fig. 75).

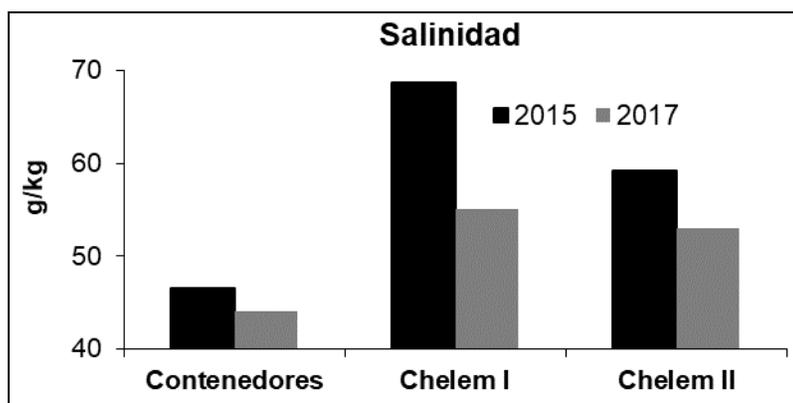


Figura 75. Salinidad intersticial de la localidad de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, en 2015 Elepeten presenta salinidad más alta (39.98 g/kg) con respecto a Pueblo (37.55 g/kg). En 2017, la salinidad en ambos sitios se incrementa, quedando el primero con 50.53 g/kg y el segundo con 39.02 g/kg (Fig. 76).

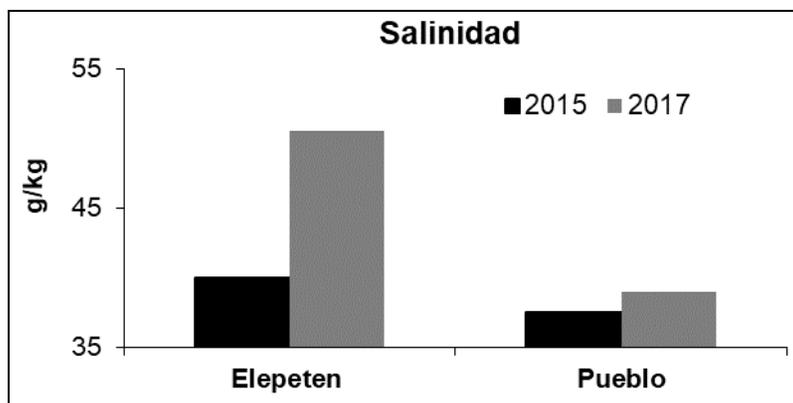


Figura 76. Salinidad Intersticial de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En esta localidad el sitio Río Lagartos presenta salinidad más alta (18.72 g/kg) que el sitio El Cuyo (14.12 g/kg) en 2015. Para 2017, ambos sitios presentan valores de salinidad semejantes (~14.0 g/kg) (Fig. 77).

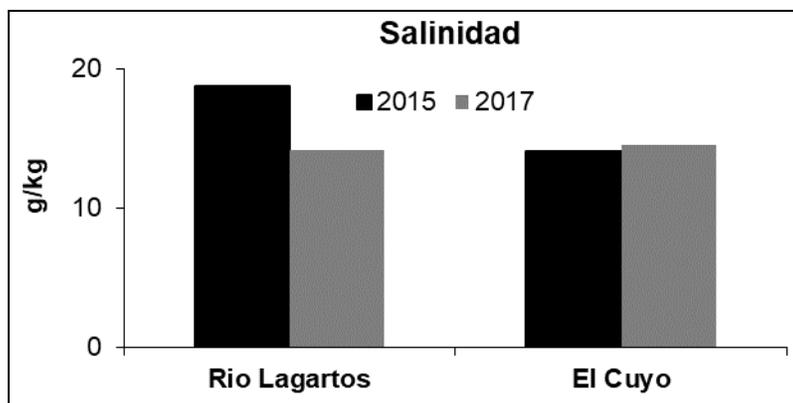


Figura 77. Salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En el área de Nichupté, en 2015 el sitio de Polígono 9 presenta salinidad promedio de 38.18 g/kg, ligeramente mayor que la de Polígono 1 (34.68 g/kg). En 2017 la salinidad disminuyó en ambos sitios, registrándose 28.0 g/kg en el primero y 23.99 g/kg en el segundo (Fig. 78).

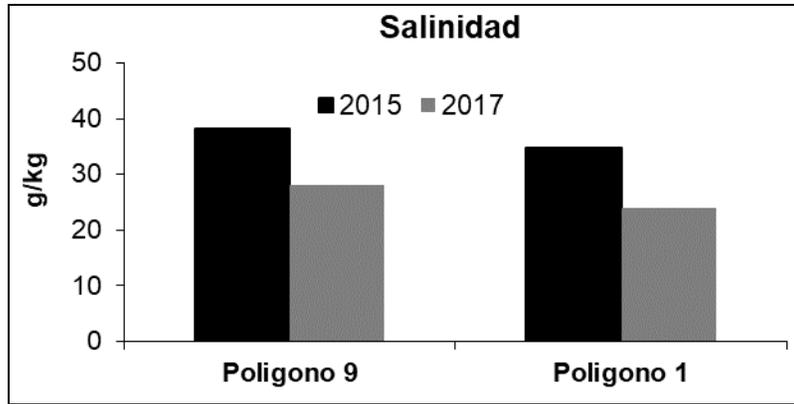


Figura 78. Salinidad intersticial de la localidad de Nichupté.

Mahahual: En 2015 la salinidad intersticial en los sitios de la localidad de Mahahual va de 21 g/kg en Mahahual 1 a 27.04 g/kg en Mahahual 4. En 2017, todos los sitios presentan una disminución evidente, ubicándose el valor más alto en Mahahual 4 con 4.50 g/kg y el mínimo en Mahahual 2 con 1.0 g/kg. Esta disminución drástica está dada por la temporalidad del muestreo, ya que el muestreo de caracterización correspondiente a 2015 se realizó en la temporada de nortes mientras que el de 2017 se realizó en la temporada de lluvias, las cuales tienen una gran influencia en la dinámica hidrológica de la zona, aunada a las emanaciones de agua dulce que existen de manera natural (Fig. 79).

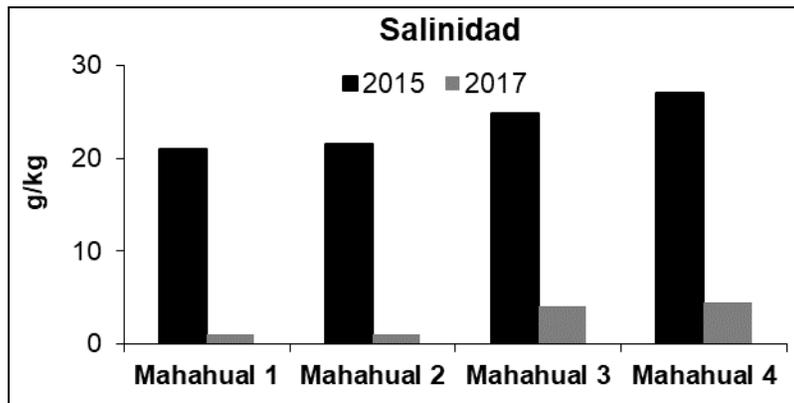


Figura 79. Salinidad intersticial de la localidad de Mahahual.

Chetumal: En 2015 la salinidad intersticial en el sitio Tamalcab (28.60 g/kg) es mayor que en Río Hondo (5.80 g/kg). En 2017 se registra una disminución en ambos sitios

pero se mantiene el patrón descrito (Tamalcab: 25.04 g/kg y Río Hondo: 5.24 g/kg) debido al aporte de agua dulce del río (Fig. 80).

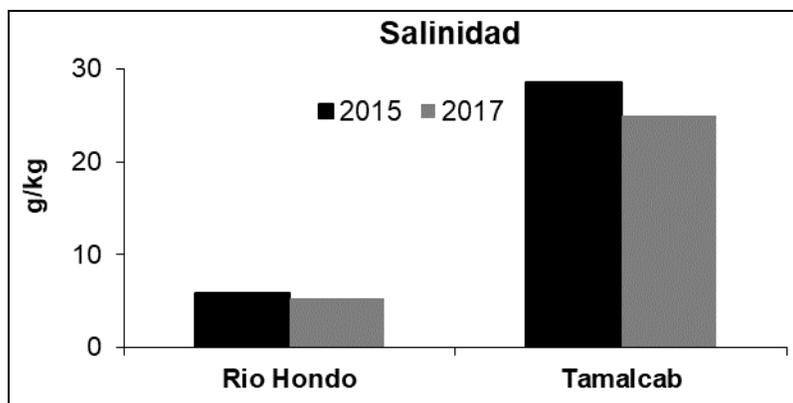


Figura 10. Salinidad Intersticial de la localidad de Chetumal.

Potencial Redox y pH

Celestún: En 2015 el mayor pH (7.94) se registró en el sitio Boca, mientras que el menor (7.46) se presentó en la zona Interna. En 2017 el pH disminuye en todos los sitios quedando en 6.94, 7.18 y 6.71 en Interna, Puente y Boca, respectivamente. Por su parte, el potencial Redox tiene el mismo comportamiento: el más negativo (-458.65 mV) se presentó en el sitio Boca en 2015, presentando una disminución en las condiciones reducidas para 2017 en los tres sitios (Fig. 81).

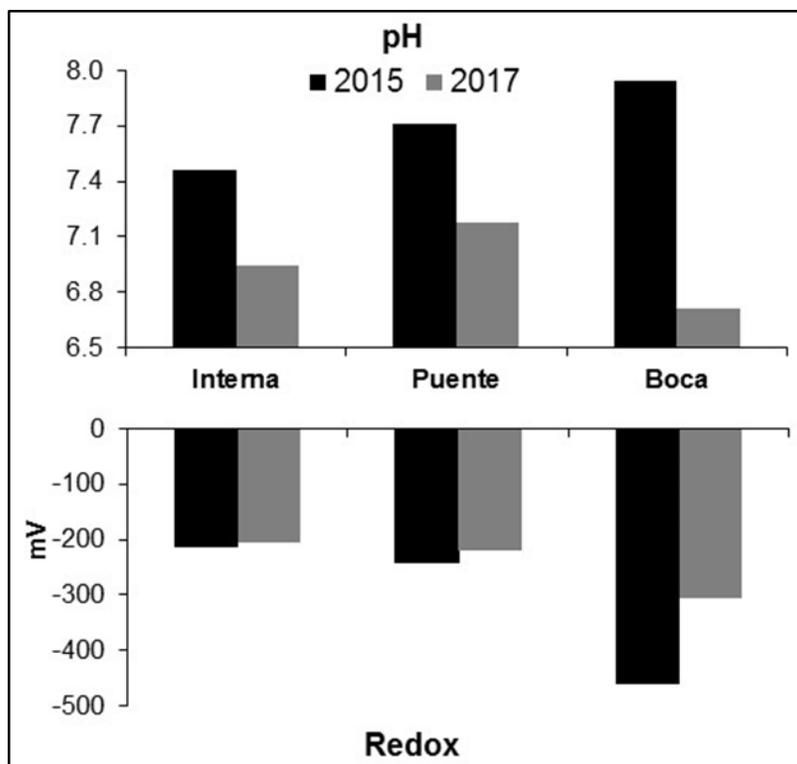


Figura 81. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, en 2015 el sitio Pecis I presenta pH más alto (7.29) con respecto a Pecis II (7.18). En 2017 el pH disminuyó a 7.01 y 6.93, respectivamente. En cuanto al potencial Redox, el más negativo se registró en Pecis I (2015: -91.75 mV, 2017: -121.05 mV) (Fig. 82).

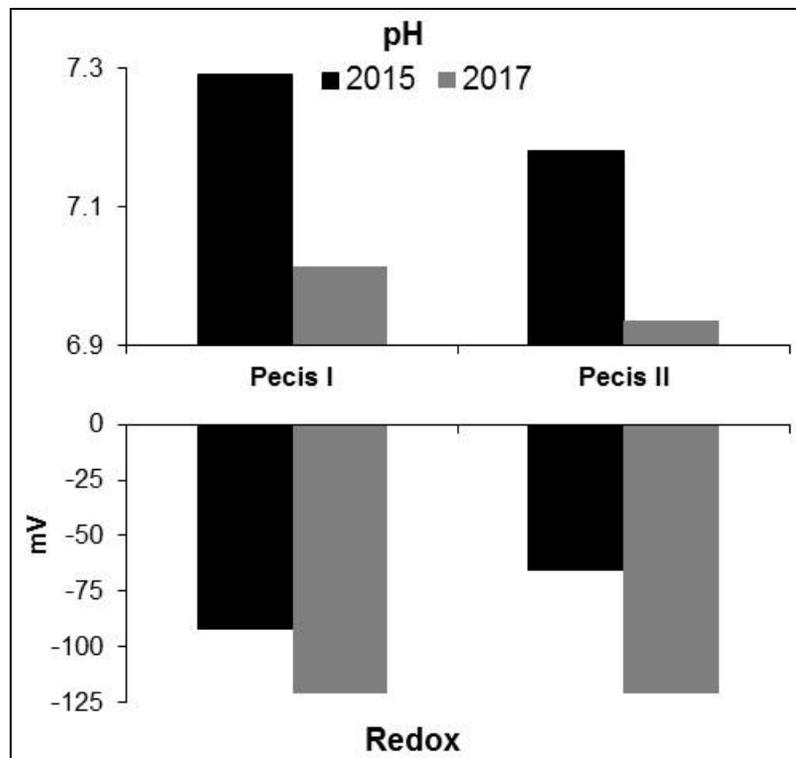


Figura 82. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal.

Progreso: En 2015 el sitio Chelem II presenta el valor más alto de pH (7.36). En 2017 esta variable disminuye en todos los sitios, observándose el valor más alto (6.74) en Chelem I. Por otro lado, el potencial Redox que indica condiciones más reducidas se presentó en Chelem II en ambos años (-251.2 mV en 2015 y -280.47 mV en 2017) (Fig. 83).

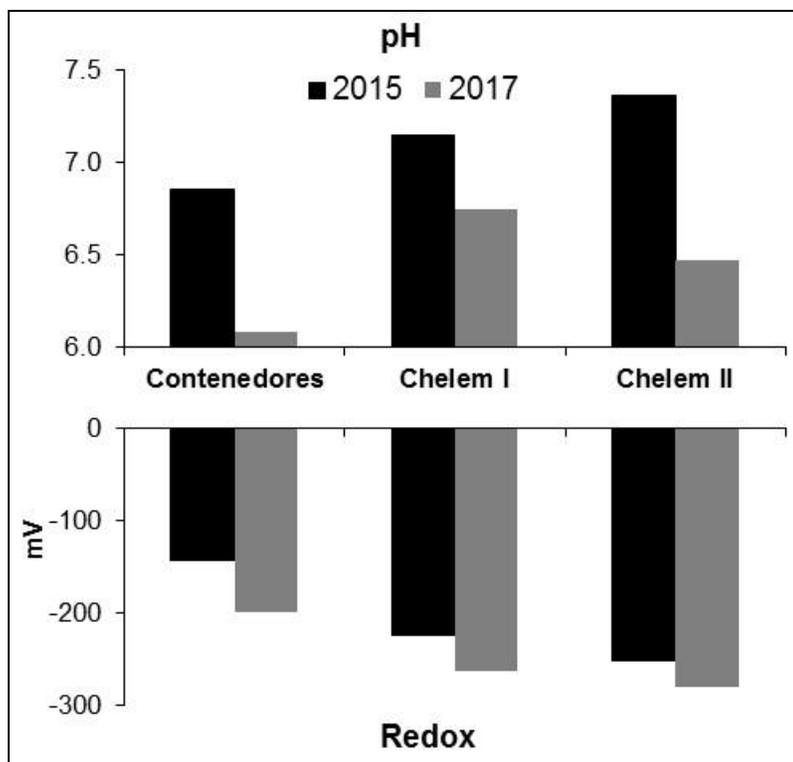


Figura 83. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Progreso.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, en 2015 y 2017 el pH de Elepeten (7.75 y 7.2, respectivamente) es mayor que el de Pueblo (7.57 y 7.0, respectivamente). En cuanto al potencial Redox, Pueblo registra redox más negativo (2015: -283 mV y 2017: -294 mV) que Elepeten (2015: -118 mV y 2017: -123 mV respectivamente) (Fig. 84).

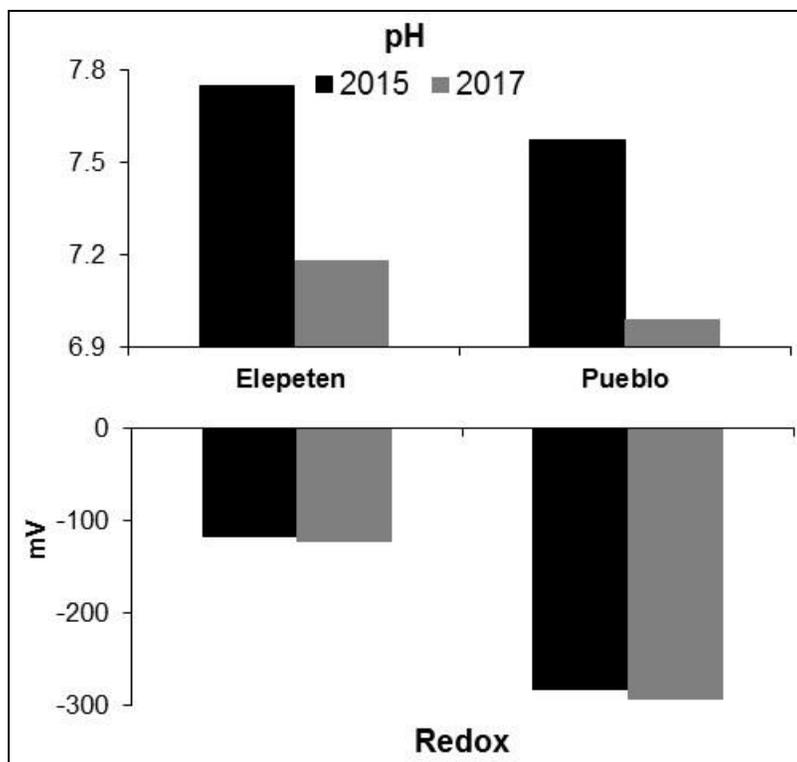


Figura 84.2 Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En 2015 y 2017 el sitio El Cuyo presenta valores de pH (7.47 y 7.2) mayores que los de Río Lagartos (7.28 y 6.9), sin embargo, ambos presentan condiciones neutras. En cuanto al potencial Redox, El Cuyo presenta valores más negativos (-159.73 mV) con respecto a Río Lagartos (-127 mV) en 2015. En 2017 la situación se invierte y Río Lagartos presenta condiciones más reducidas (-190.9 mV) con respecto a El Cuyo (-157 mV) (Fig. 85).

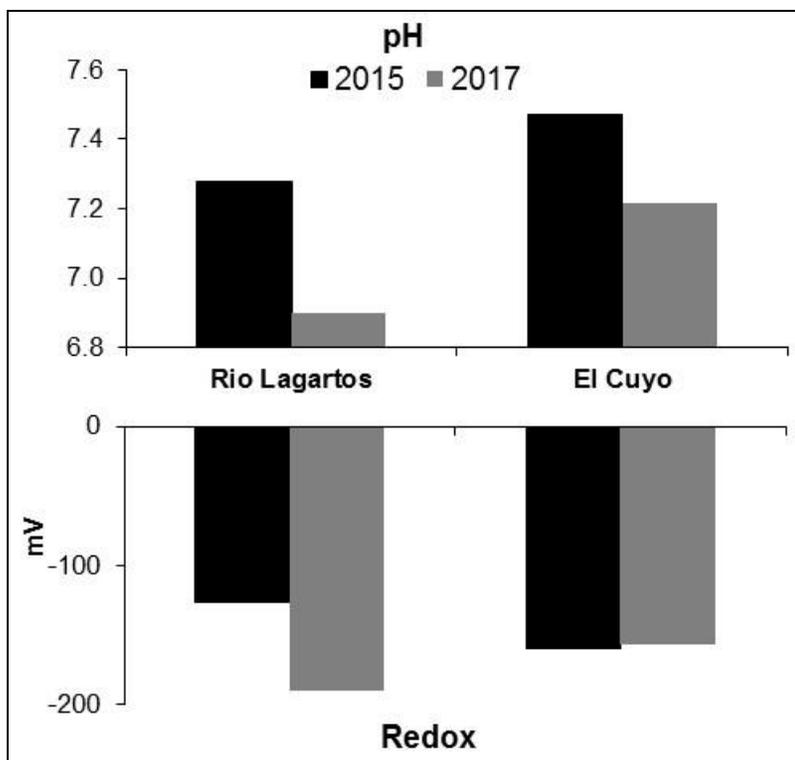


Figura 85. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En la localidad de Cancún, dentro de los sitios ubicados en el sistema lagunar de Nichupté, en 2015 y 2017 Polígono 1 presenta pH mayor (6.97 y 6.69, respectivamente) que Polígono 9 (6.45 y 6.55), indicando sedimentos más ácidos. De acuerdo con el potencial Redox, Polígono 1 tiene condiciones menos reducidas (2015: -253.3 mV y 2017: -232.0 mV) que Polígono 9 (2015: -297.5 mV y 2017: -333.0 mV) (Fig. 86).

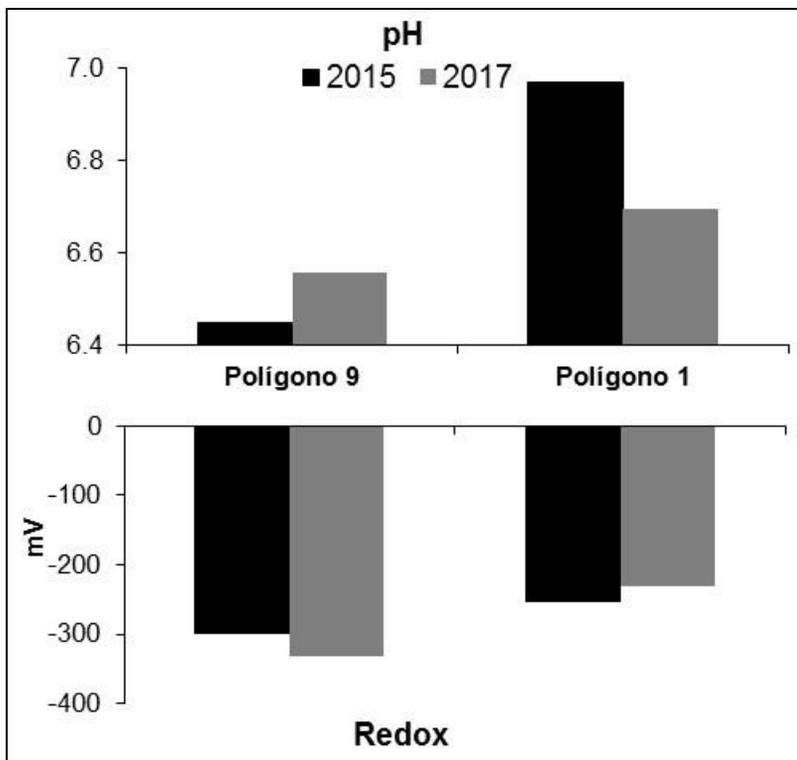


Figura 86. Potencial Redox y pH en suelos de manglar de la localidad de Nichupté.

Mahahual: En 2015 Mahahual 2, que presenta el valor más alto para pH (7.24), tiene el valor menos reducido de potencial Redox (-173 mV) mientras que Mahahual 3 tiene el valor más bajo de pH (6.97) y la característica más reducida de acuerdo con su potencial Redox (-242 mV). En 2017 Mahahual 2 incrementa su valor de pH a 8.05 y las condiciones más reducidas en cuanto al potencial Redox se observaron en Mahahual 4 (269.7 mV) (Fig. 87).

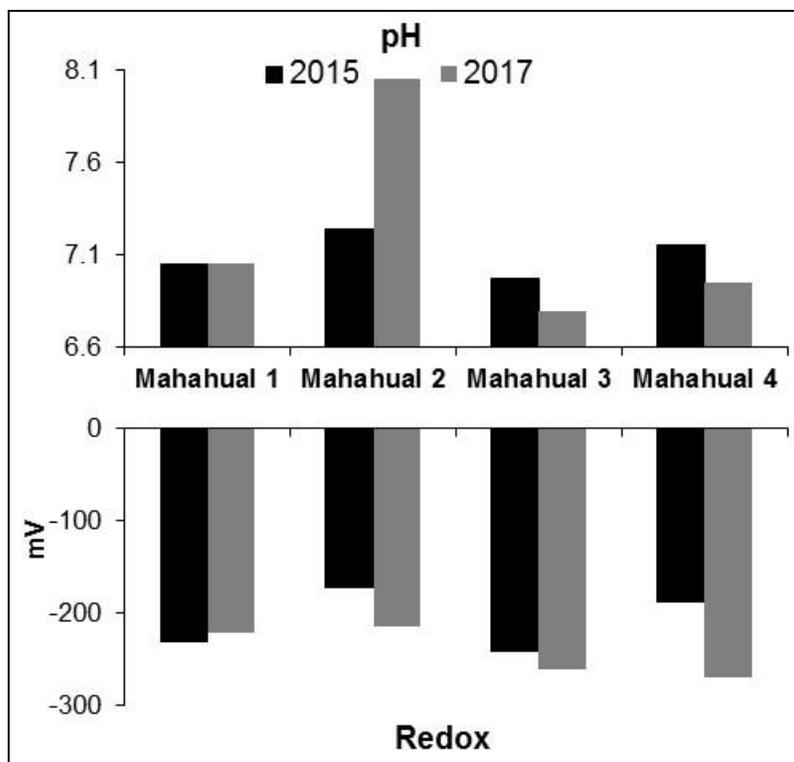


Figura 873. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Mahahual.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, en el año 2015 los suelos de Río Hondo y Tamalcab presentaron pH de 7.31 y 7.31, respectivamente. En 2017, estos registraron una disminución (7.08 y 7.13) sugiriendo una ligera acidificación. En cuanto al potencial Redox, Tamalcab presenta en 2015 y 2017 condiciones más reducidas (-131.5 mV y -142.4 mV, respectivamente) que Río Hondo (-72.5 mV y -120.8 mV, respectivamente). La diferencia entre sitios está determinada por la influencia de la dinámica del río y la diferencia entre años tiene influencia de las épocas climáticas que tienen efecto sobre la hidrología, la cual controla las características fisicoquímicas del agua y los sedimentos (Fig. 88).

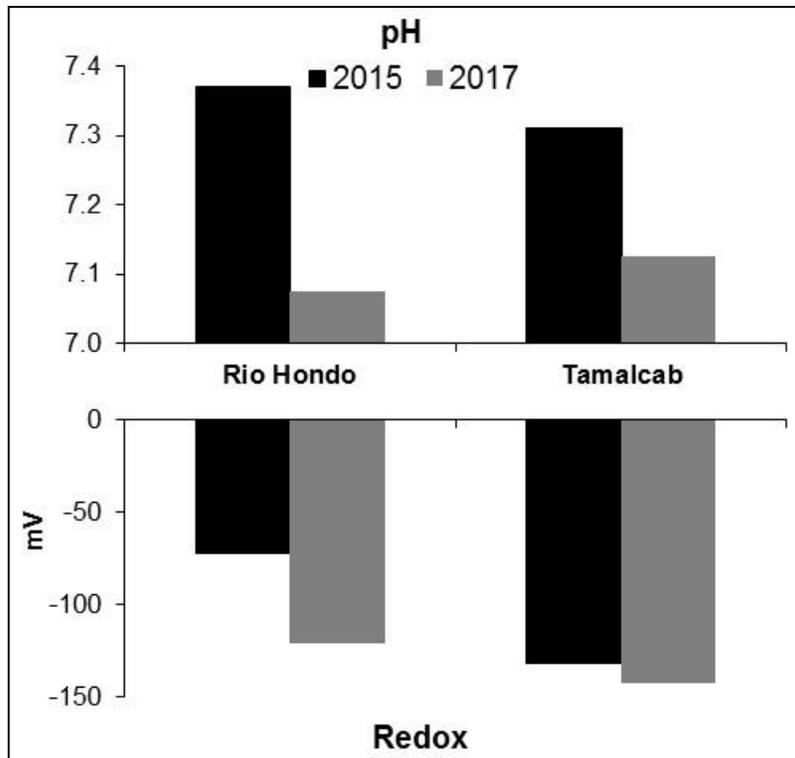


Figura 88. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Chetumal.

3. Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles

Estructura de árboles adultos

Celestún: Las variaciones en las características estructurales de los sitios entre los años 2015 y 2017 son pequeñas debido a que los cambios en la estructura de la vegetación se reflejan en periodos largos de tiempo. En el área basal se registraron cambios de alrededor de $\sim 2 \text{ m}^2/\text{ha}$. La densidad se mantuvo igual, el promedio de alturas fue mayor en 2017, al igual que el índice de complejidad. La composición y dominancia de especies no varió entre años de muestreo (Fig. 89).

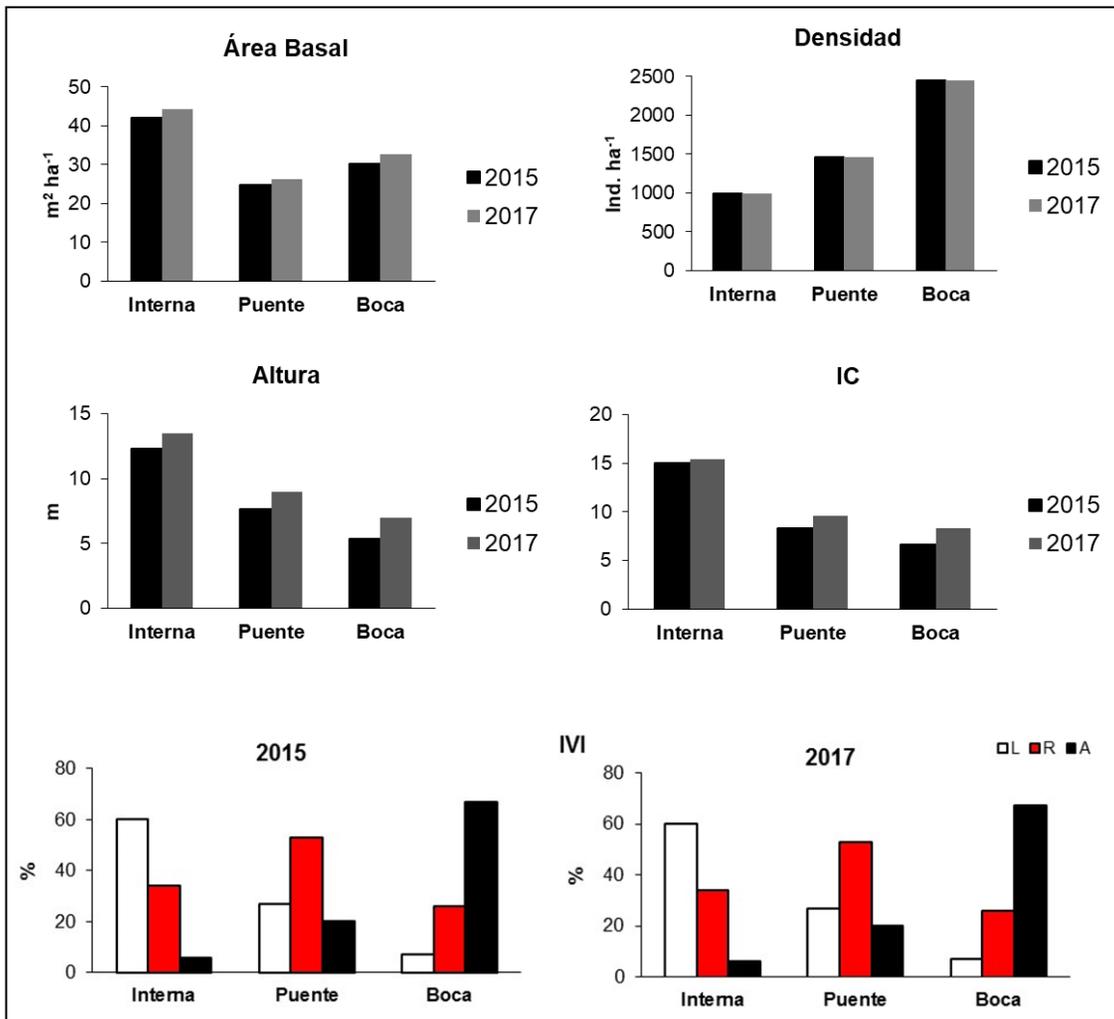


Figura 89. Variables estructurales de la localidad de Celestún. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Sisal: Los cambios en las características estructurales de la vegetación entre los años 2015 y 2017, se observan en el área basal, alturas e índice de complejidad. El área basal aumentó en ambos sitios, siendo mayor en Pecis I de 16.95 a 18.43 m²/ha. El número de individuos por unidad de área se mantuvo en los dos sitios. El cambio en la altura de un año a otro fue mayor en Pecis I pasando de 3.10 a 4.8 m. El índice de complejidad se incrementó ambos sitios. De acuerdo con el índice de valor de importancia, la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad (Fig. 90).

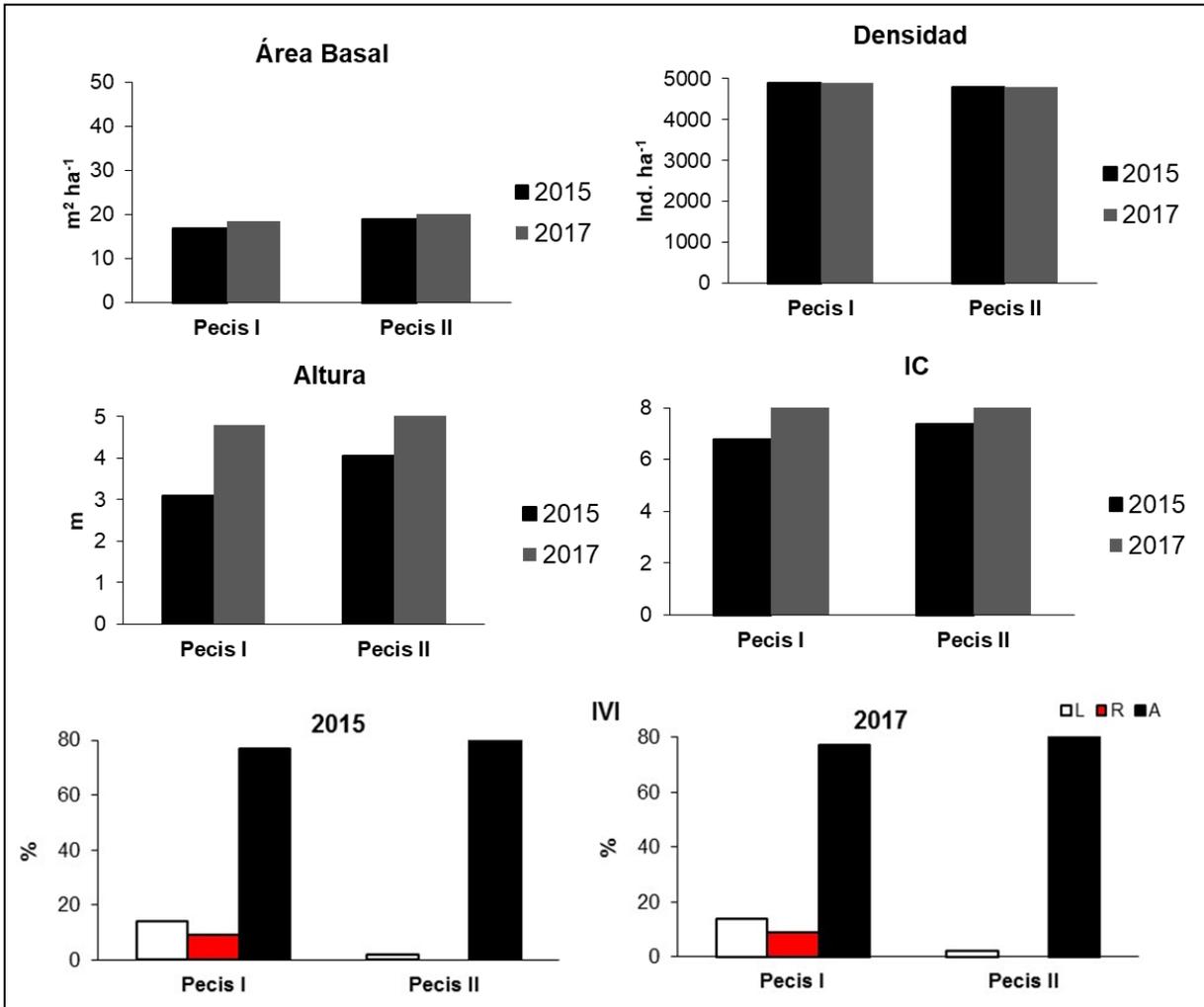


Figura 90. Variables estructurales de la localidad de Sisal. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Progreso: Entre 2015 y 2017 se muestra un incremento en las variables de área basal, altura e índice de complejidad. La densidad se mantuvo a la par en todos los sitios. El mayor incremento en la altura se presentó en Chelem I donde los árboles pasaron de tener 2.02 m en 2015 a 3.67 m en 2017. La dominancia de especies no ha cambiado en dos años (Fig. 91).

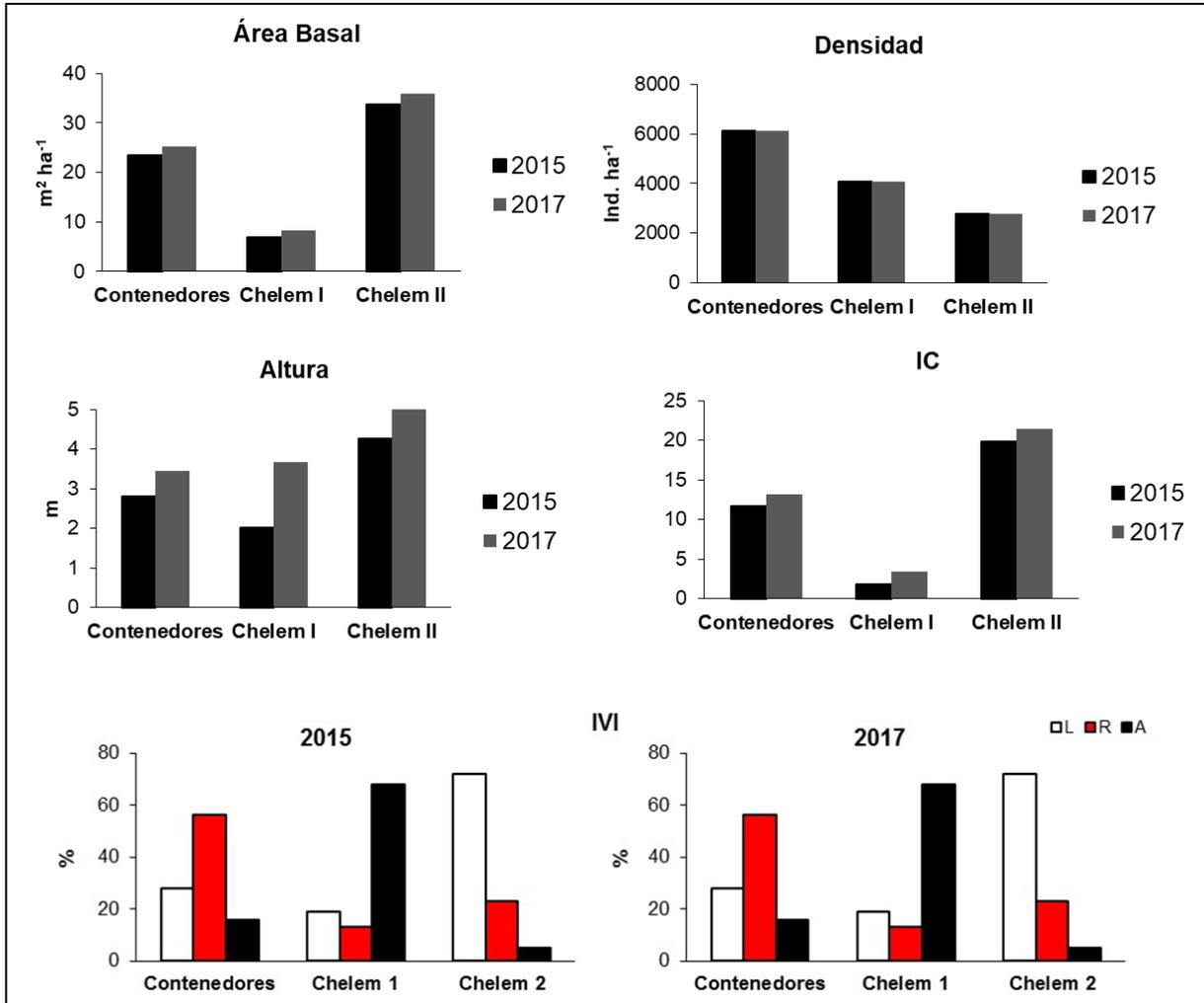


Figura 91. Variables estructurales de la localidad de Progreso. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Dzilam: Los patrones de las variables estructurales entre sitios de esta localidad se mantienen, presentando Elepeten valores más altos que Pueblo. El área basal en Elepeten se incrementó de 7.32 a 9 m²/ha. La densidad se mantuvo en ambos sitios. Sin embargo, a pesar de que Pueblo presenta árboles con menor altura con respecto a Elepeten, su incremento de 2015 a 2017 fue mayor, pasando de 2.25 a 3.2 m (Fig. 92).

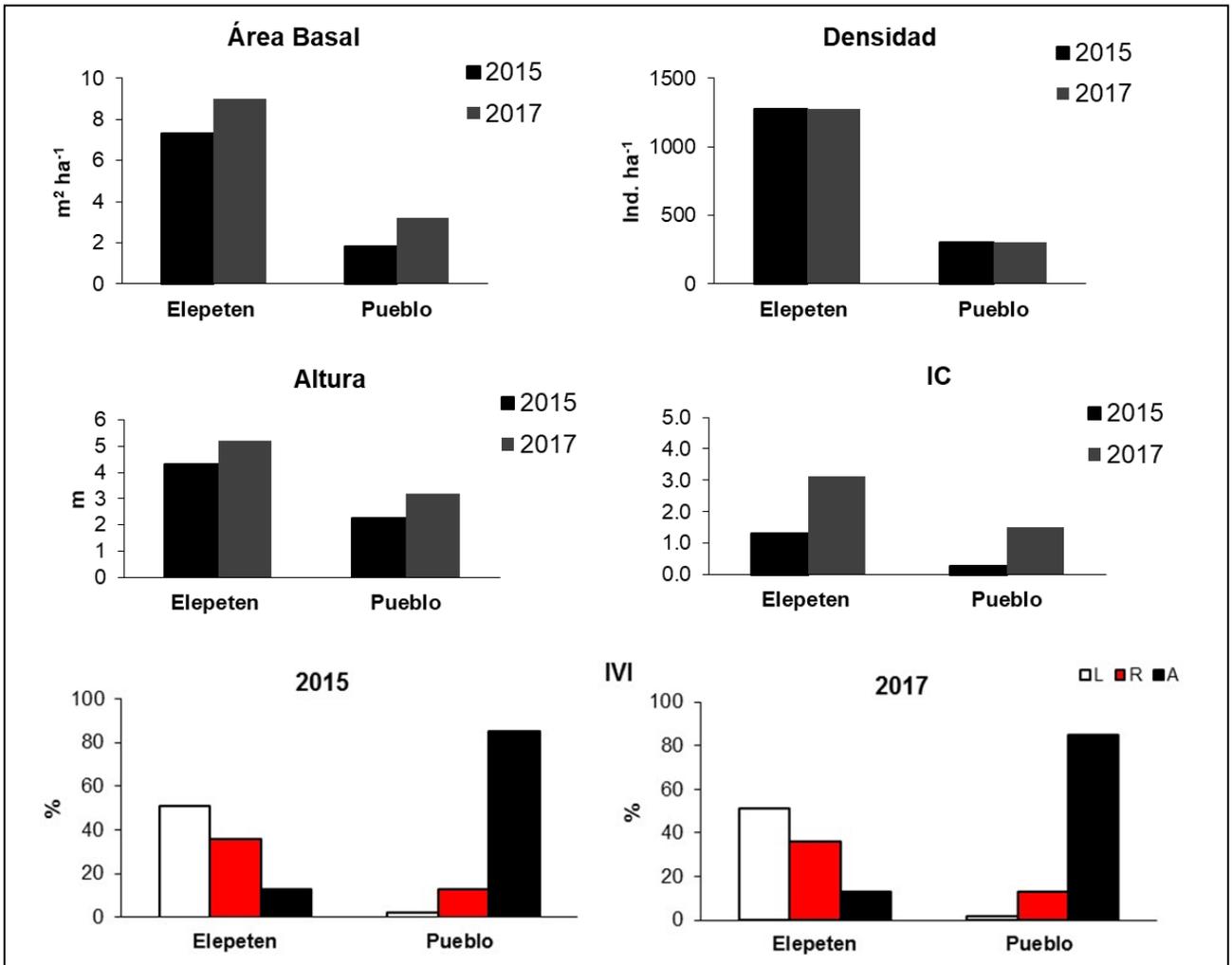


Figura 92. Características estructurales de la localidad de Dzilam. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Río Lagartos: Los aspectos relevantes a destacar de los cambios entre 2015 y 2017 de las características estructurales de la vegetación de manglar son aumentos en el área basal siendo mayor en el sitio Río Lagartos de 11.1 a 13.2 m² ha⁻¹. La densidad de árboles se conservó en sitio Río Lagartos y disminuyó entre años en El cuyo pasando de 4,055 a 3,940 ind. ha⁻¹. Respecto al índice de complejidad incrementaron en ambos sitios, teniendo mayor aumento en El Cuyo pasando de 4.88 a 6.12. La dominancia de las especies por sitio no cambió entre años de muestreo (Fig. 93).

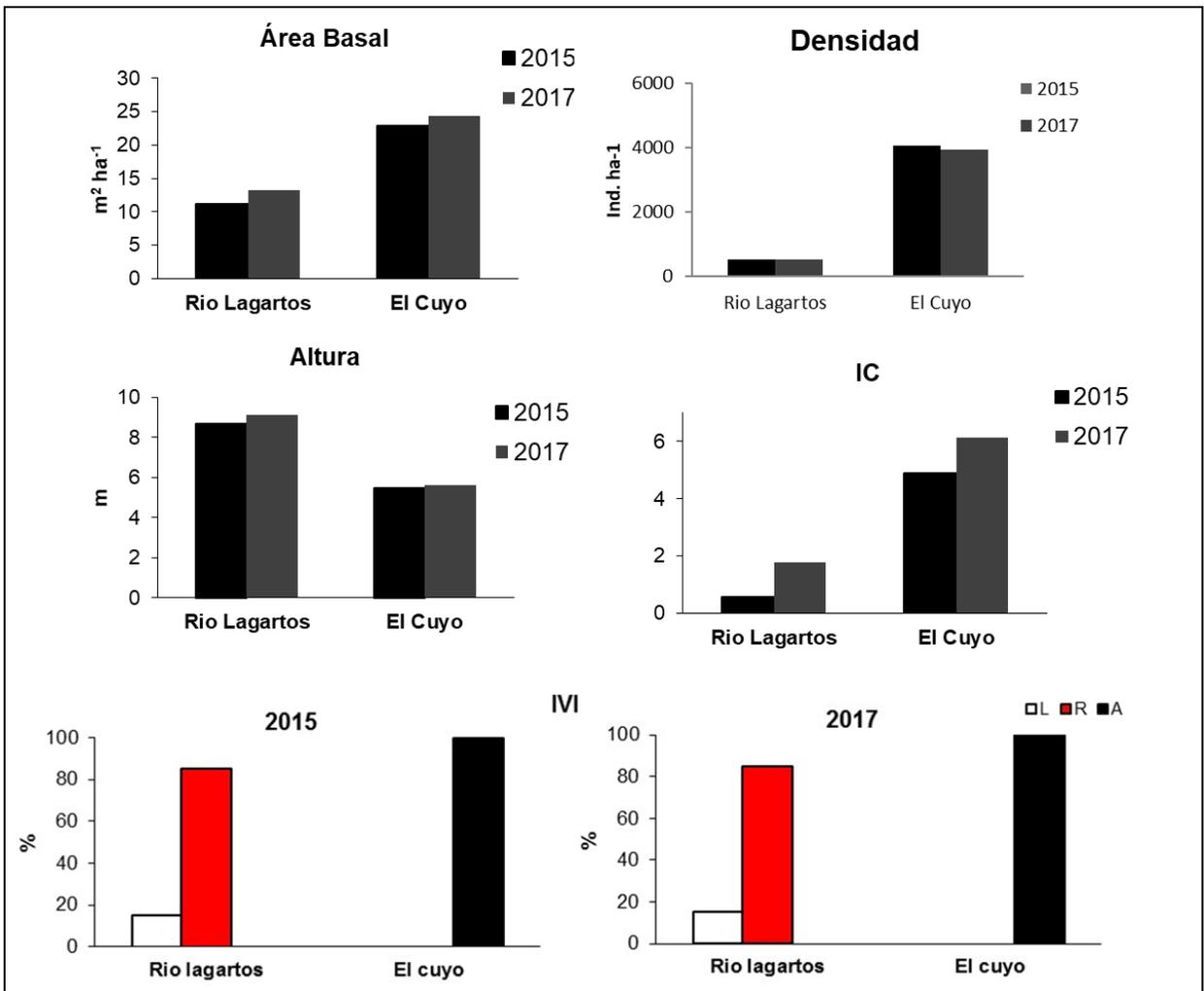


Figura 93. Variables estructurales de la localidad de Río Lagartos. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *A. germinans* (A).

Nichupté: Entre 2015 y 2017 el área basal aumentó en ambos sitios, siendo mayor en Polígono 1, pasando de 39.15 m² ha⁻¹ en 2015 a 42 m² ha⁻¹ en 2017. La densidad de árboles se mantuvo igual entre años. La altura se incrementó en ambos sitios, observando un mayor incremento en Polígono 1 de 6.62 a 7.43 m. El índice de complejidad en ambos sitios se incrementó manteniendo el patrón de los valores más altos en Polígono 1. Se mantiene un bosque monoespecífico de *Rhizophora mangle* (Fig. 94).

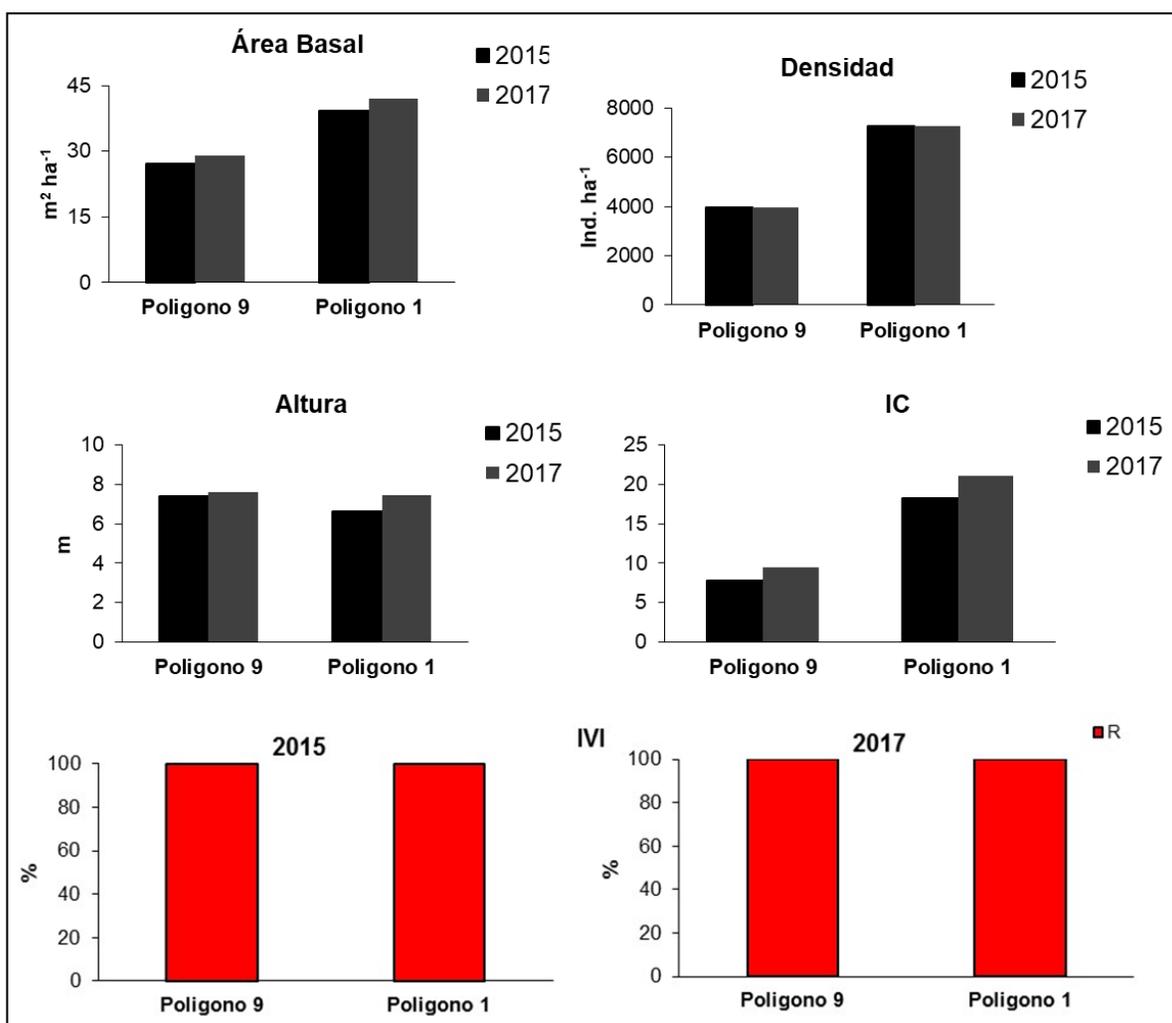


Figura 94. Variables estructurales de la localidad de Nichupté. *R. mangle* (R).

Mahahual: De 2015 a 2017 el área basal se incrementó en los 4 sitios de la localidad de Chetumal, observándose un mayor incremento en Mahahual 3 pasando de 2.77 a 3.89 m² ha⁻¹. La densidad de los árboles se mantuvo en los cuatro sitios. Respecto a las alturas se observa un crecimiento de los árboles en los 4 sitios de la localidad, presentándose un incremento en Mahahual 4 pasando de 1.63 a 2.67 m. Por su parte, el índice de complejidad en los cuatro sitios se incrementó entre años, observando un mayor incremento en Mahahual 3 pasando de 3.55 a 4.31. La composición y dominancia de especies no varió entre años de muestreo (Fig. 95).

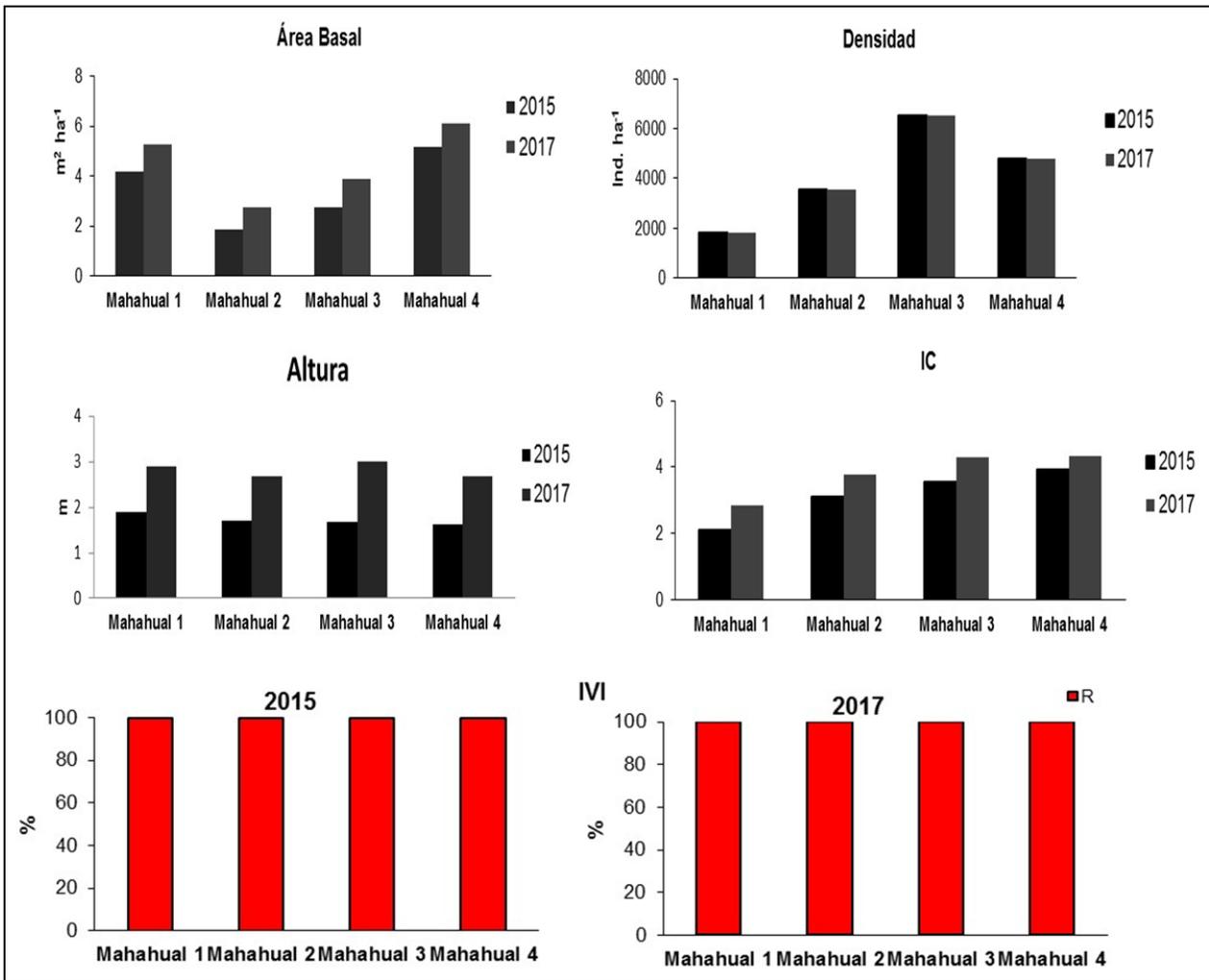


Figura 95. Variables estructurales de la localidad de Mahahual. *R. mangle* (R).

Chetumal: De 2015 a 2016 se registraron cambios en las variables estructurales del bosque de manglar. El área basal tuvo un mayor incremento en Tamalcab, pasó de 24.15 a 25.32 m² ha⁻¹. La densidad de árboles no se muestra cambios en ninguno de los sitios de esta localidad. Las alturas promedio presentaron incremento en ambos sitios siendo mayor en el sitio Tamalcab que pasó de 9.7 a 11.2 m. Respecto al índice de complejidad se observó un incremento similar en ambos sitios siendo mayor en Tamalcab que paso de 7.84 a 6.78. El índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad (Fig. 96).

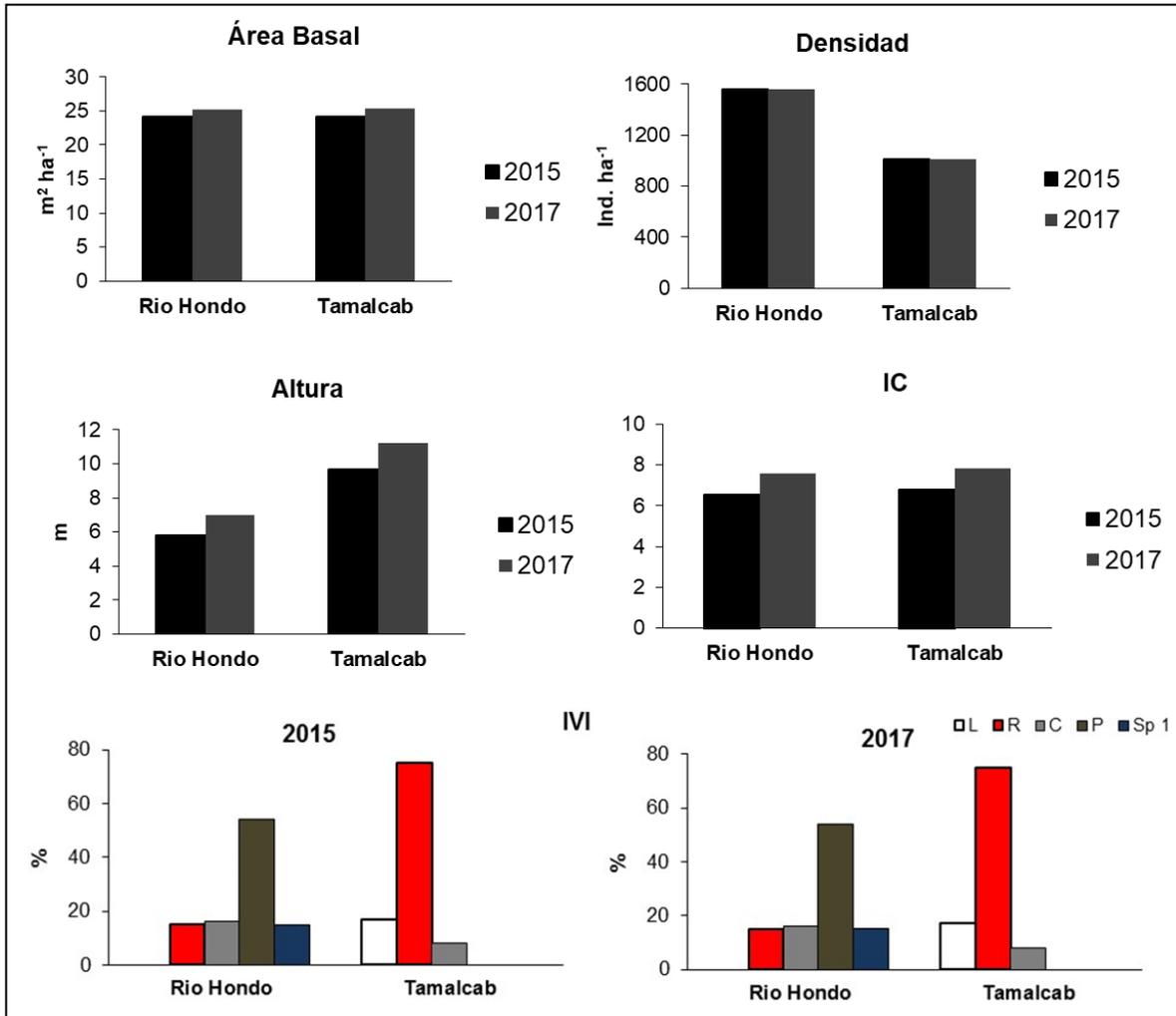


Figura 96. Variables estructurales de la localidad de Chetumal. *L. racemosa* (L), *R. mangle* (R), *C. erectus* (C), *Pachira sp.* (P) y Especie no identificada (Sp1). Las dos últimas corresponden a especies de selva mediana.

Regeneración

Celestún: En 2015, el sitio Puente presenta mayor densidad de plántulas (144 ind. m⁻²) con respecto a Interna y Boca (68 y 79 ind. m⁻², respectivamente). En 2017, en todos los sitios se presenta una disminución de plántulas, pasando a 140 ind. m⁻² en Puente, a 65 ind. m⁻² en Interna y a 76 ind. m⁻² en Boca.

Por otra parte, la zona Interna presenta mayor densidad de juveniles con respecto a los otros sitios en los dos años, presentándose 58 ind. ha⁻¹ en 2015 y 59 ind. ha⁻¹ en 2017 (Fig. 97).

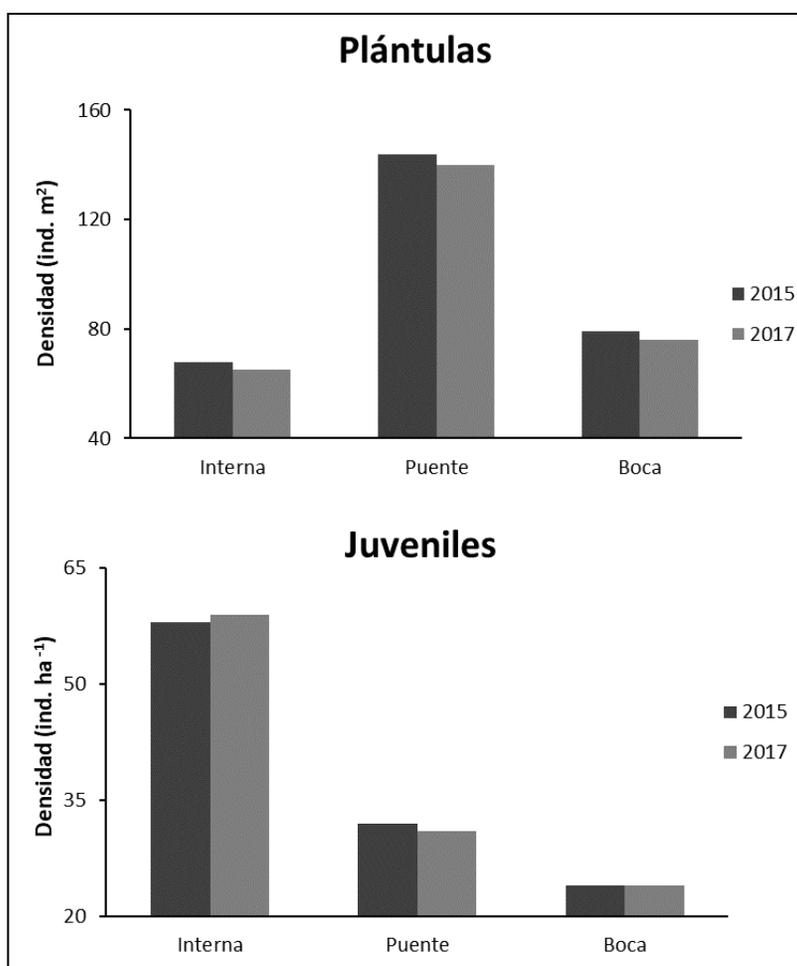


Figura 97. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Celestún.

Sisal: En 2015 la densidad de plántulas es mayor en Pecis I (45 ind. m⁻²) con respecto a Pecis II (38 ind. m⁻²). En 2017 la densidad de plántulas disminuye en ambos sitios, pero el patrón se mantiene: Pecis I presenta 43 ind. m⁻², mientras que Pecis II presenta 36 ind. m⁻².

La densidad de juveniles tiene el mismo comportamiento: 59 ind. ha⁻¹ para Pecis I y 44 ind. ha⁻¹ para Pecis II en 2015 y 58 ind. ha⁻¹ y 46 ind. ha⁻¹, respectivamente, para 2017 (Fig. 98).

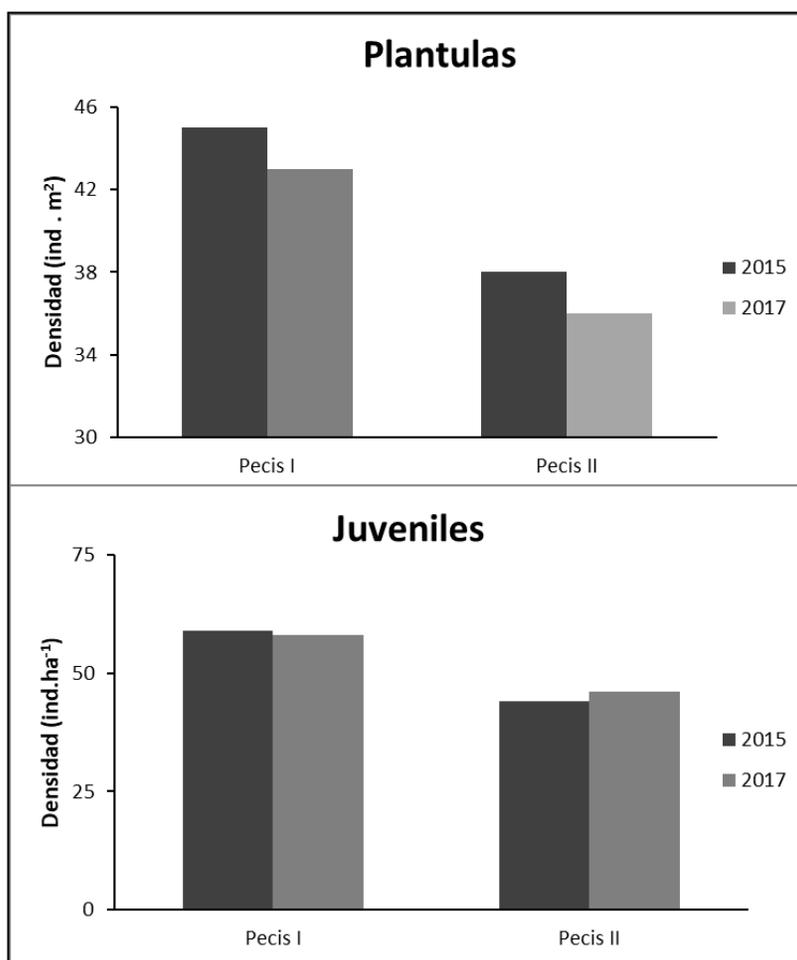


Figura 98. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Sisal.

Progreso: En 2015 y en 2017 Chelem II presenta mayor densidad de plántulas (217 ind. m⁻² y 215 ind. m⁻²) con respecto a los otros sitios de la localidad de Progreso.

La densidad de juveniles tiene el mismo comportamiento: Chelem II presenta los valores más altos de la localidad (38 ind. ha⁻¹ y 37 ind. ha⁻¹, en 2015 y 2017, respectivamente) (Fig. 99).

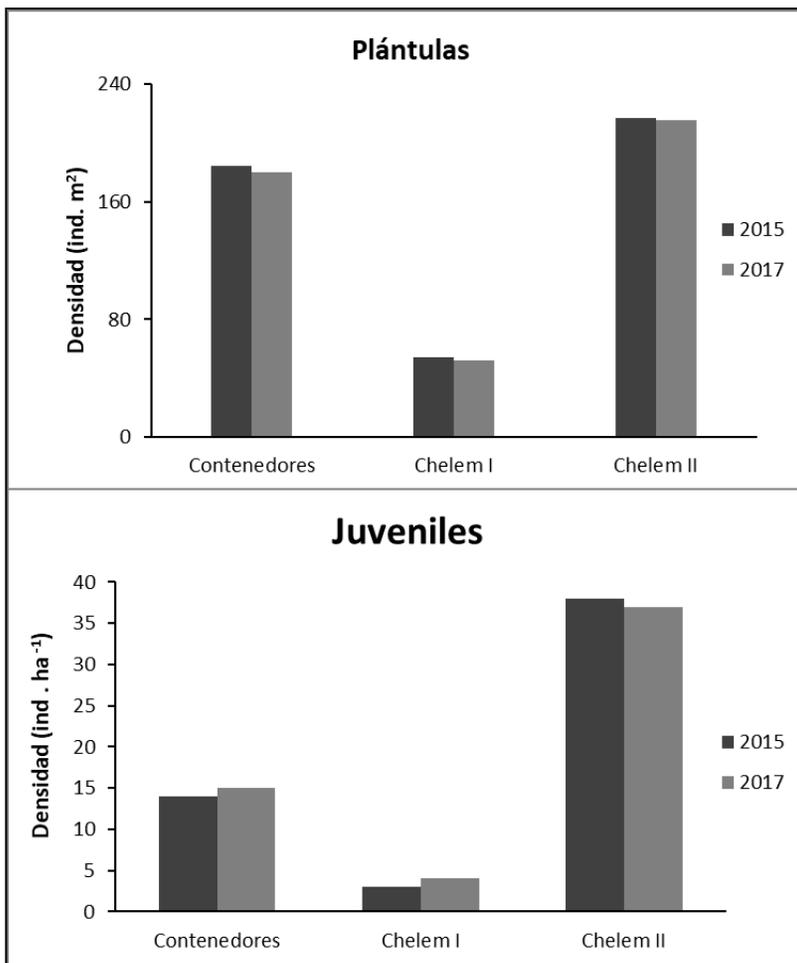


Figura 99. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Progreso.

Dzilam: En 2015 se registró que la densidad de plántulas es mayor en Elepeten (328 ind m⁻²) con respecto a Pueblo (31 ind m⁻²). En 2017, Elepeten presenta 320 ind m⁻² y Pueblo, 32 ind m⁻².

La densidad de juveniles tiene el mismo comportamiento: en 2015, Elepeten tiene una densidad de 7 ind ha⁻¹ mientras que Pueblo presenta 5 ind ha⁻¹; en 2017 el primero presenta 8 ind ha⁻¹ y el segundo, 6 ind ha⁻¹ (Fig. 100).

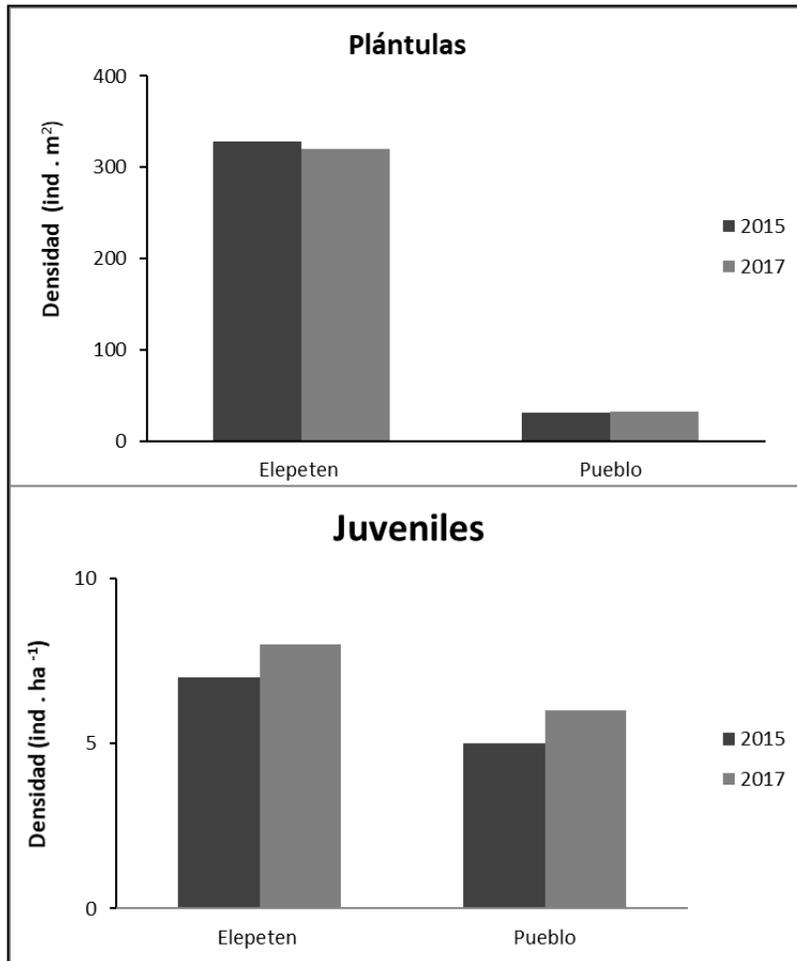


Figura 100. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En 2015 la densidad de plántulas en Río Lagartos y El Cuyo es igual (5 ind m⁻²). En 2017 disminuye a 4 ind m⁻² en Río Lagartos e incrementa a 6 ind m⁻² en El Cuyo. La densidad de juveniles es de 2 ind ha⁻¹ para Río Lagartos y 1 ind ha⁻¹ para El Cuyo en 2015, incrementándose en 2 individuos para el 2017 en cada sitio, recalando que debe tomarse en cuenta la temporalidad de la caracterización (Fig. 101).

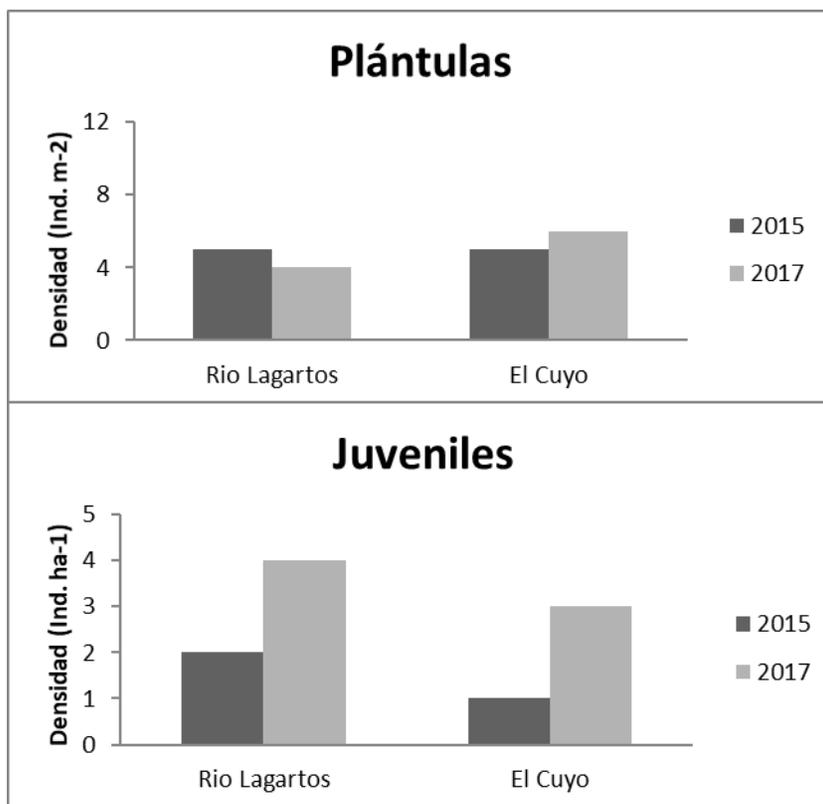


Figura 101. Densidad de plántulas y juveniles de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En 2015 la densidad de plántulas es mayor en Polígono 9 (5 ind m⁻²) que en Polígono 1 (3 ind m⁻²). En 2017 estas densidades se incrementaron a 7 ind m⁻² y a 6 ind m⁻², respectivamente. En ninguno de los sitios anterior se presentan individuos en estado juvenil (Fig. 102).

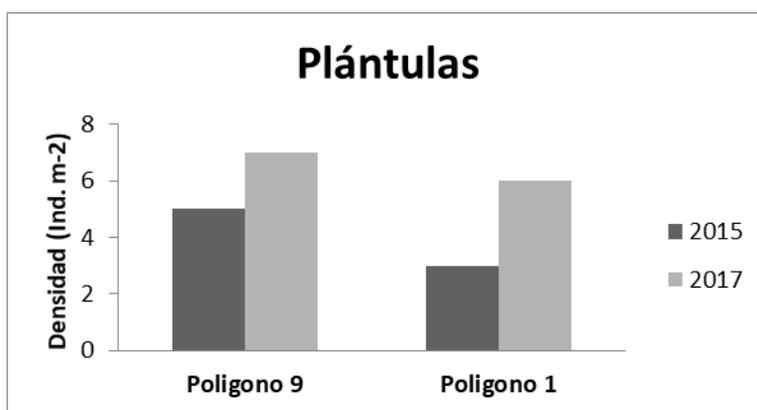


Figura 102. Densidad de plántulas de la localidad de Nichupté.

Mahahual: En 2015, el sitio Mahahual 2 presenta mayor densidad de plántulas (23 ind m^{-2}) con respecto a los otros sitios, y Mahahual 3 tiene menor número de plántulas por área (15 ind m^{-2}). Este patrón se mantiene en 2017, a pesar de que Mahahual 2 presenta 19 ind m^{-2} mientras que Mahahual 3, 14 ind m^{-2} . En ninguno de los dos años se presentaron individuos en etapa juvenil (Fig. 103).

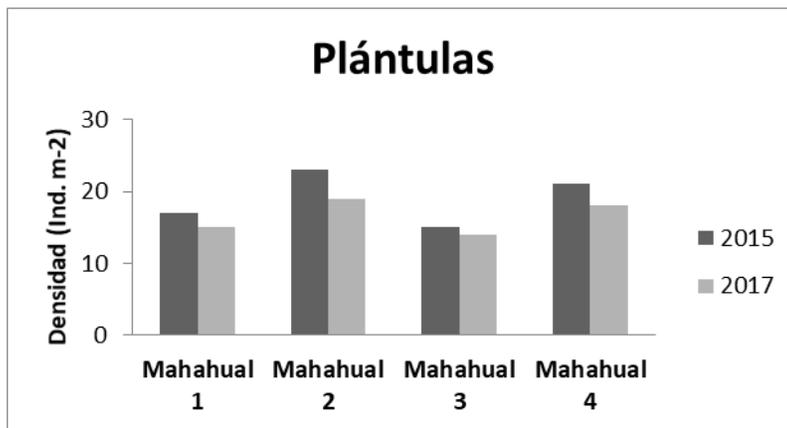


Figura 103. Densidad de plántulas de la localidad de Mahahual.

Chetumal: En 2015, el sitio Tamalcab presenta mayor densidad de plántulas (28 ind m^{-2}) con respecto a Río Hondo (21 ind m^{-2}). En 2017 ocurre lo mismo a pesar de que el número de plantulas por metro cuadrado se vió disminuido (Tamalcab: 24 ind m^{-2} , Río Hondo: 17 ind m^{-2}). Por otro lado, la densidad de juveniles en 2015 es de 238 ind ha^{-1} en Río Hondo mientras que Tamalcab presenta 273 ind ha^{-1} . En 2017 los juveniles se incrementan a 240 ind ha^{-1} y 277 ind ha^{-1} , respectivamente (Fig. 104).

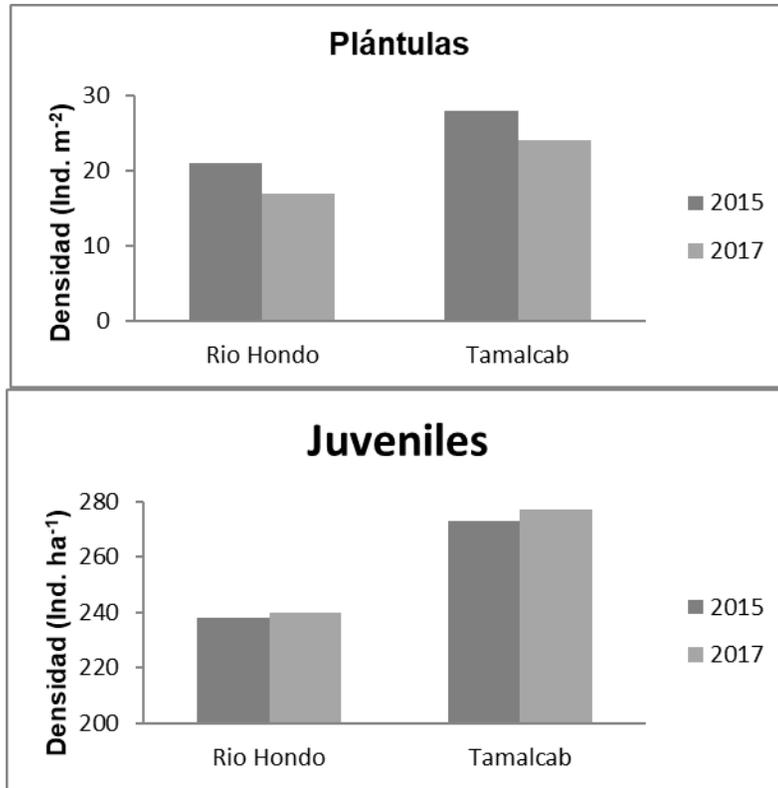


Figura 104. Densidad de plántulas y juveniles de la localidad de Chetumal.

B) FASE DE MONITOREO

1. Clima

El clima general de la Península de Yucatán (PY) se caracteriza por ser cálido con lluvias en verano, y escasas el resto del año (García y Mosiño, 1992). El patrón está asociado a la variación de la precipitación reconociéndose tres épocas climáticas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y nortes (noviembre-febrero). Los vientos dominantes provienen del sureste ($0-15 \text{ km h}^{-1}$). Entre noviembre y febrero se presentan vientos intensos entre $50-90 \text{ km h}^{-1}$, son llamados localmente como “nortes” ya que están asociados con los frentes polares. Las variaciones en cada localidad están principalmente determinadas por la abundancia de la precipitación habiéndose identificado un patrón de menores precipitaciones en el norte y mayores en el sur de la península. Los huracanes son frecuentes durante la última parte del verano y el comienzo del otoño (agosto-octubre e incluso noviembre).

Normales climatológicas

Yucatán. La variación en la precipitación y la temperatura del aire durante el periodo de 1961 al 2011 (50 años) en Yucatán presentó una precipitación promedio anual para este periodo de $666.76 \pm 85.74 \text{ mm}$; definiéndose claramente tres épocas del año. La precipitación promedio durante la época de lluvias fue de $479.56 \pm 50.4 \text{ mm}$; época de nortes de $121.58 \pm 20.96 \text{ mm}$; y época de secas con promedio de $65.62 \pm 14.4 \text{ mm}$. En el caso de la temperatura del aire, el promedio anual fue de $25.81 \pm 0.18 \text{ °C}$, con un intervalo de $22.85 \pm 0.2 \text{ °C}$ a $27.66 \pm 0.19 \text{ °C}$ (Fig. 105).

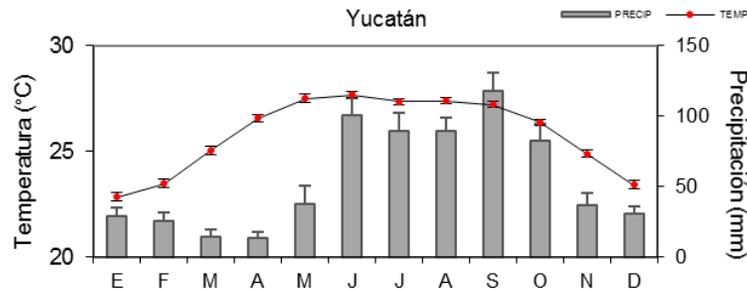


Figura 105. Datos promedio de la precipitación anual y temperatura (°C) de 1961 a 2011. Datos meteorológicos del Estado de Yucatán, México.

Quintana Roo. Durante el periodo de 1961 al 2011 (50 años) en Quintana Roo se presentó una precipitación promedio anual para este periodo de 1316.5 ± 174.39 mm; reflejándose tres épocas del año. La precipitación promedio durante la época de lluvias fue de 838.5 ± 96.88 mm; época de nortes de 300.2 ± 49.07 mm; y época de secas con promedio de 177.8 ± 28.44 mm. En el caso de la temperatura del aire, el promedio anual fue de 25.29 ± 0.20 °C, con un intervalo de 22.33 ± 0.21 °C a 27.27 ± 0.17 °C (Fig. 106).

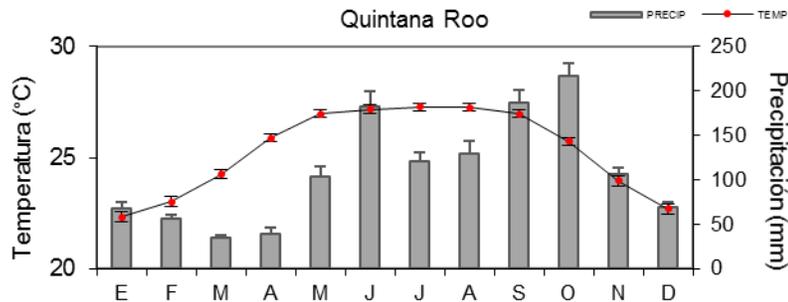


Figura 106. Datos promedio de la precipitación anual y temperatura (°C) de 1961 a 2011. Datos meteorológicos del Estado de Quintana Roo, México.

Descripción de precipitación y temperatura

A continuación, se describen las variables de precipitación y temperatura registrados de 2015 a 2017 para cada una de las localidades donde se realiza el proyecto.

Celestún: En esta localidad la precipitación anual promedio es de 760 mm. La menor temperatura se registró en el mes de enero de 2017 (22.1 °C) y la mayor en mayo de 2017 (30.18 °C), mientras que la mayor precipitación registrada (326.0 mm) se presentó en el mes de julio de 2017 y la menor (1.0 mm) en mayo del mismo año (Fig. 107).

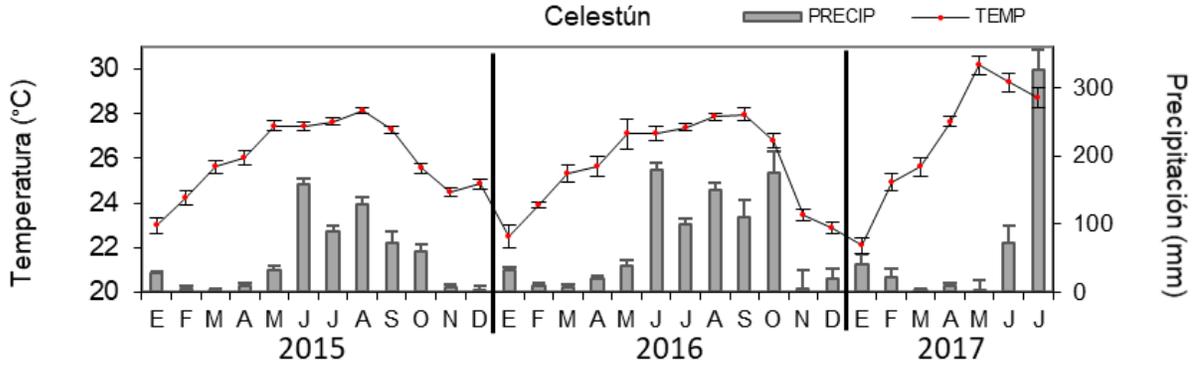


Figura 107. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Celestún.

Sisal: La precipitación media anual en esta localidad es de 598 mm. La precipitación más alta fue registrada en el mes de junio de 2017 (192.9 mm), mientras que la menor se observó en el mes de diciembre de 2015 (0.60 mm). La mayor temperatura registrada fue de 28.76 °C en el mes de junio de 2017 mientras que la temperatura más baja (23.24 °C) se presentó en el mes de enero del mismo año (Fig. 108).

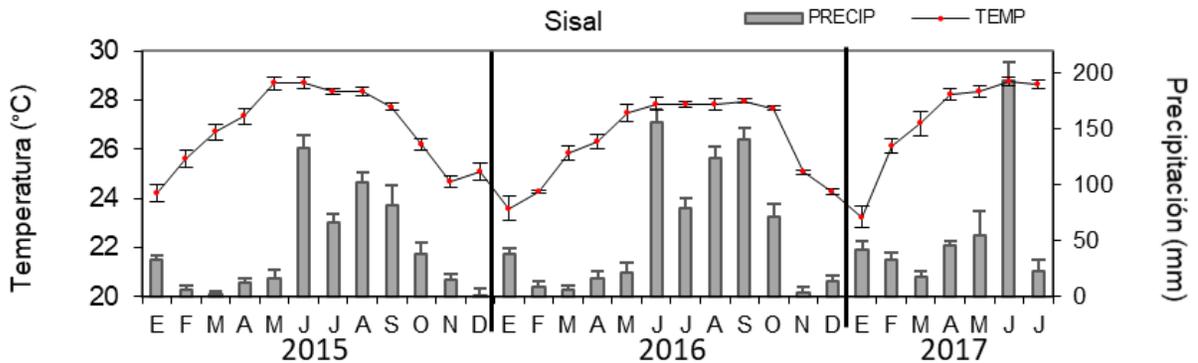


Figura 108. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Sisal.

Progreso: La precipitación promedio anual de esta localidad es de 444 mm. El mes de agosto de 2016 registró la mayor precipitación (165.28 mm) correspondiendo a la época de lluvias, mientras que la menor precipitación se observó en el mes de marzo de 2015 (1.10 mm). En el mes de enero de 2017 se presentó una temperatura promedio menor (22.39 °C) y el mayor promedio observado fue en el mes de junio del mismo año (29.65 °C) (Fig. 109).

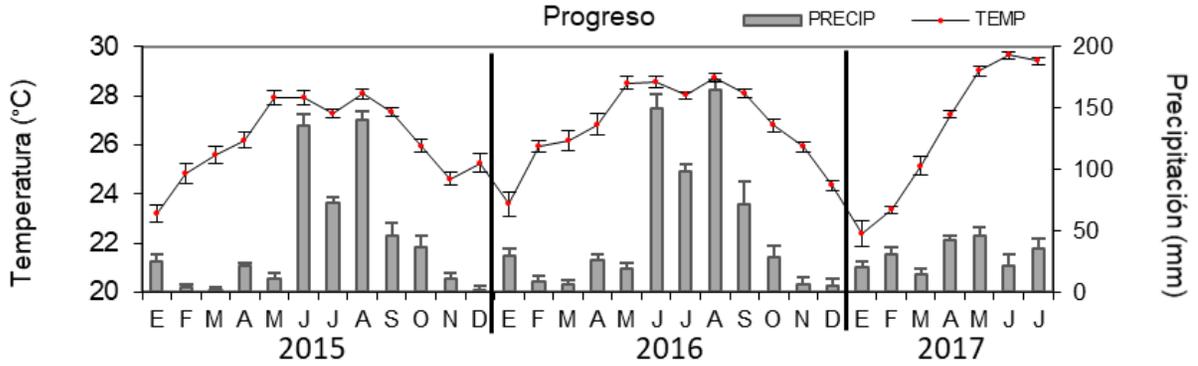


Figura 109. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Progreso.

Dzilam: En esta localidad la precipitación promedio anual es de 970 mm. La mayor precipitación se observó al inicio de la temporada lluvias en el mes de junio de 2016 (141.24 mm). La menor precipitación (1.30 mm) se registró en el mes de diciembre de 2015. Por otro lado, la menor temperatura se presentó en enero de 2015 con un valor de 24.13 °C y la mayor en agosto de 2016 con 27.94 °C (Fig. 110).

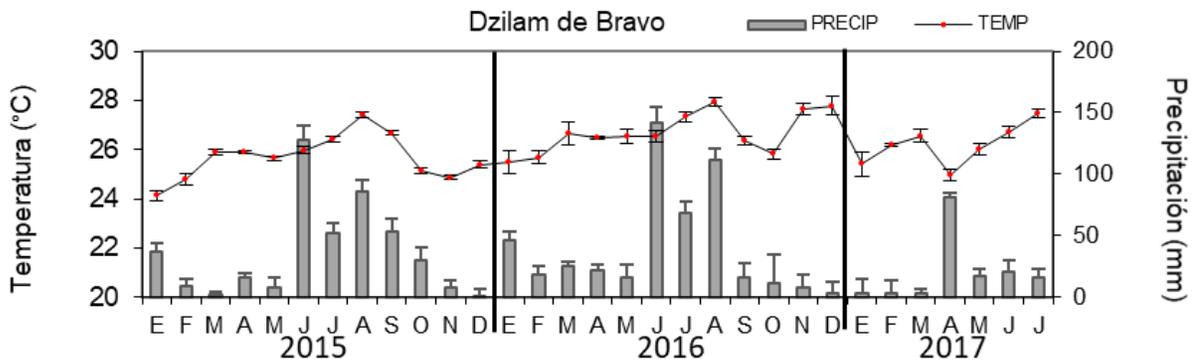


Figura 110. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Dzilam.

Rio Lagartos: La precipitación media anual es de 413 mm. La mayor precipitación se registró en el mes de junio de 2016 (182.48 mm), que corresponde a la temporada de lluvias. Con respecto a la temperatura, la mayor se presentó durante el mes de agosto de 2016 (28.64 °C) y la menor se registró en enero de 2017 (21.82 °C) (Fig. 111).

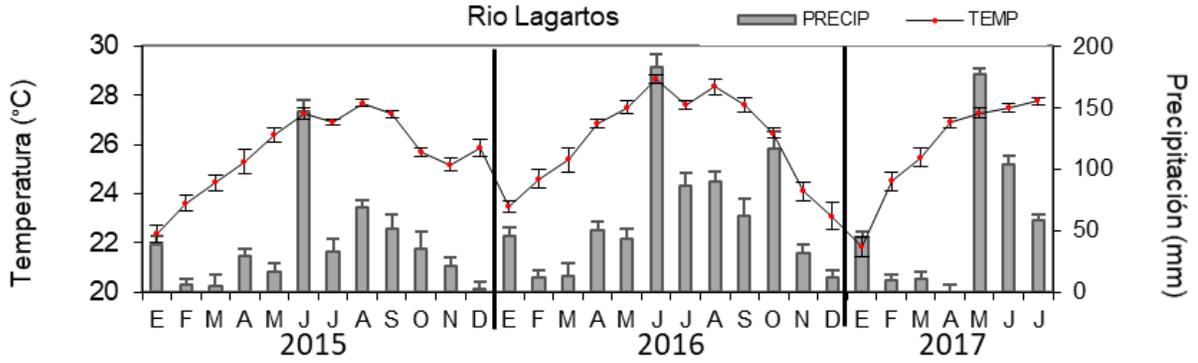


Figura 111. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En esta localidad la precipitación promedio es de 1,000 mm. La mayor temperatura se registró en el mes de agosto de 2016 (29.33 °C), mientras que la menor se observó en diciembre de 2016 (21.21 °C). Con respecto a la precipitación, la más alta se presentó en el mes de junio de 2017 (287.0 mm) y la menor en el mes de diciembre de 2016 (5.2 mm) (Fig. 112).

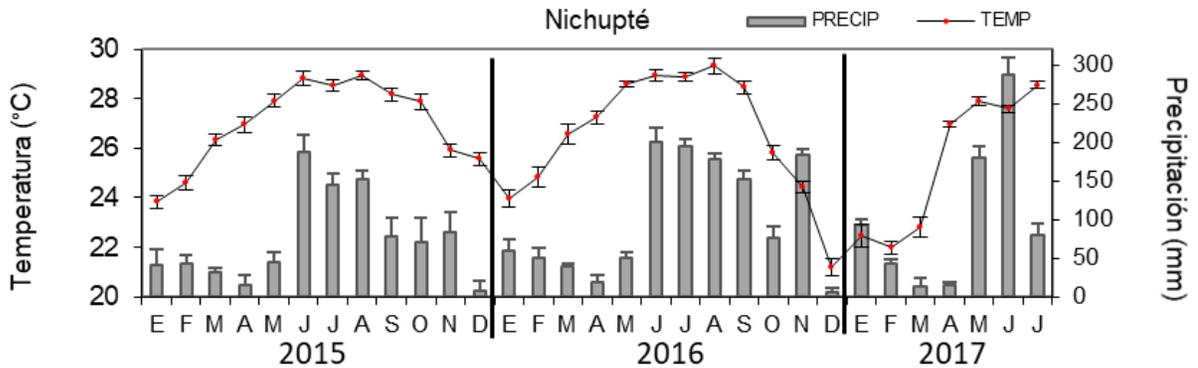


Figura 112. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: La precipitación promedio anual de esta localidad ha sido determinada en 1041 mm. La mayor precipitación se registró en el mes de octubre de 2016 (286.50 mm), mientras que en el mes de diciembre de 2015 se registraron las menores precipitaciones (4.25 mm). Por otro lado, en el mes de junio de 2015 se registró la mayor temperatura (29.77 °C) mientras que el mes de diciembre de 2016 fue más frío (20.90 °C) con respecto a los otros meses (Fig. 113).

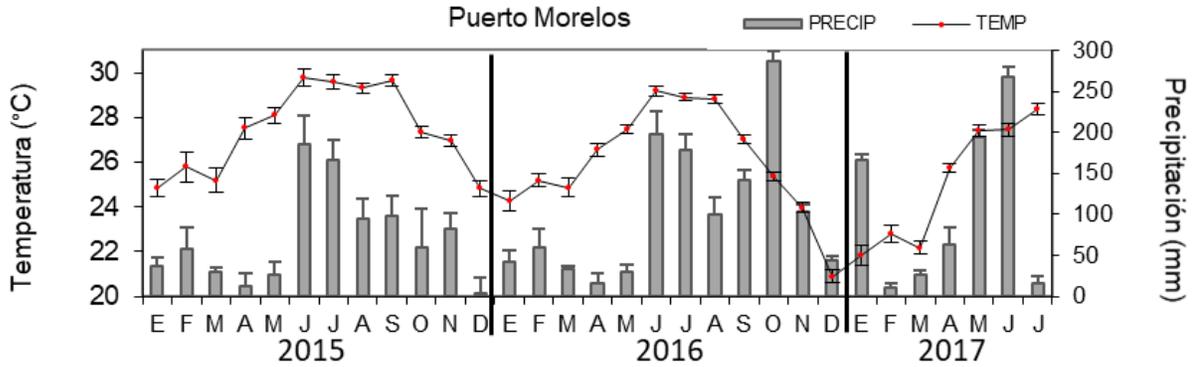


Figura 113. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Puerto Morelos.

Mahahual: La precipitación media anual en esta localidad es 1500 mm. La menor precipitación fue de 6.87 mm en diciembre de 2015 y la mayor en junio de 2017 con 252.5 mm. Con respecto a la temperatura, en el mes de agosto del 2016 se registraron los valores más altos (29.82 °C) mientras que en el mes de enero de 2017 se registraron los valores más bajos (23.48 °C) (Fig. 114).

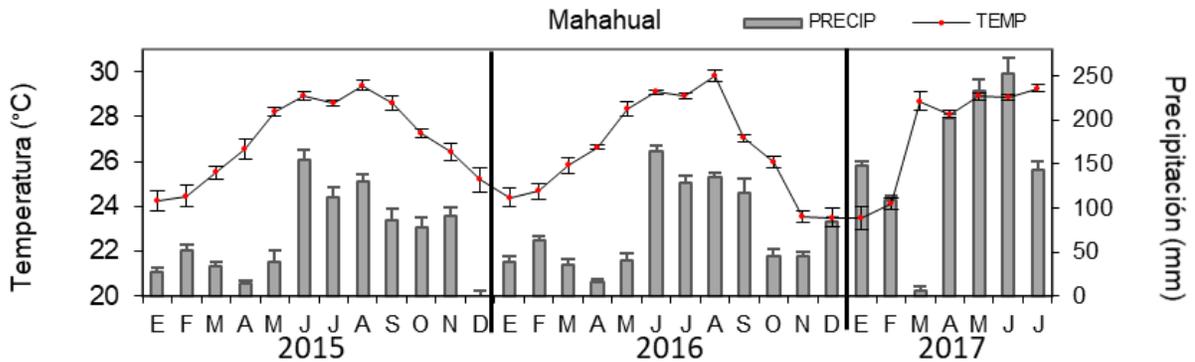


Figura 114. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Mahahual.

Chetumal: La precipitación promedio anual es de 1290 mm. La mayor precipitación se registró en el mes de junio de 2017 (206.4 mm), mientras que la menor fue observada en diciembre de 2015 (5.7 mm). Con respecto a la temperatura, el mes más caluroso fue septiembre de 2016 (30.08 °C) y el mes con menor temperatura fue enero de 2016 (25.19 °C) (Fig. 115).

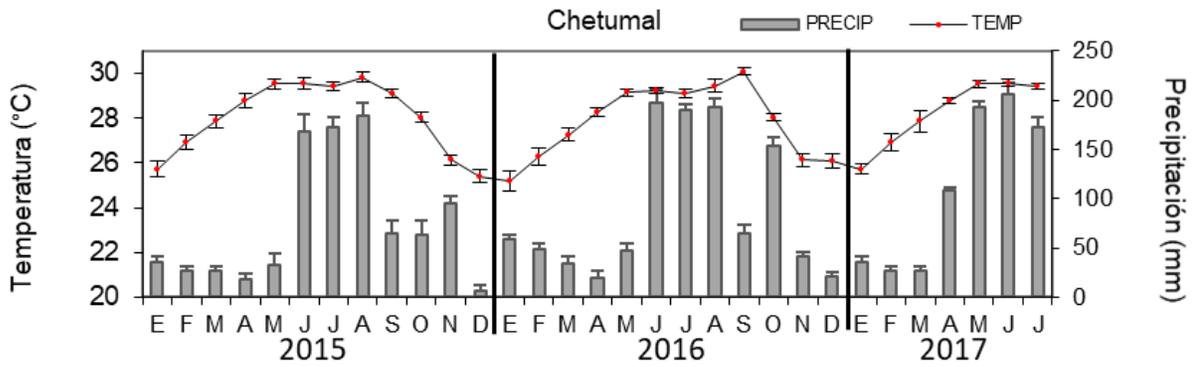


Figura 115. Variación mensual de la temperatura promedio y precipitación acumulada registradas en 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Chetumal.

2. Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total

La densidad aparente y el contenido de materia orgánica en el sedimento se encuentran estrechamente relacionados y responden a cambios en la humedad y otras propiedades físicas. A continuación, se reportan estas variables para cada uno de los sitios de monitoreo de manglar en la península de Yucatán, cuyos muestreos se realizaron entre enero y agosto en 2015 y 2016, y entre enero y mayo en 2017.

Densidad aparente y contenido de materia orgánica

Celestún: La zona Puente posee valores más altos de densidad aparente del suelo con respecto a Interna y Boca en 2015 y 2016, sin embargo, es el que presenta una disminución de esta variable de 0.36 g/cm^3 a 0.35 g/cm^3 de un año a otro; la zona Interna sufrió un incremento de 0.22 g/cm^3 en 2015 a 0.23 g/cm^3 en 2016 mientras que la zona Boca conservó su valor (0.29 g/cm^3) en ambos años. En 2017 los tres sitios de Celestún presentan una densidad aparente menor comparada con 2015 y 2016 (Puente: 0.29 g/cm^3 , Boca: 0.25 g/cm^3 e Interna: 0.18 g/cm^3).

Por lo que respecta a la materia orgánica contenida en sedimento, en 2015 la zona Interna registró el mayor contenido con 47.5% y la zona puente el menor con 34.2%. Sin embargo, en 2016 estos sitios sufren un incremento a 48.1% y 35.1%, respectivamente, mientras que el sitio Boca presenta una disminución de 40.7% a 39.5% de un año a otro. Para 2017 los tres sitios de esta localidad mostraron un incremento de la materia orgánica presentando zona Interna 51.1%, mientras que Puente y Boca igualaron su valor en 39.9% (Fig. 116).

Sisal: En esta localidad se observa que en ambos años los sedimentos más densos se encuentran en el sitio Pecis I con respecto a Pecis II, sin embargo, Pecis II tiene mayor contenido de materia orgánica que Pecis I. De 2015 a 2016, Pecis I incrementó la densidad del sedimento de 0.75 g/cm^3 a 0.88 g/cm^3 mientras que Pecis II conservó su valor (0.55 g/cm^3). En 2017, en Pecis I la densidad del sedimento se vio disminuida a 0.83 g/cm^3 mientras que en Pecis II aumentó a 0.65 g/cm^3 .

Por otro lado, en los dos sitios el contenido de materia orgánica se incrementa en 0.1% de 2015 a 2016, pasando de 13.5% a 13.6% en Pecis I y de 19.3% a 19.4% en Pecis II. En 2017, en Pecis I se incrementa a 13.9% mientras que en Pecis II disminuye a 18.9% (Fig. 117).

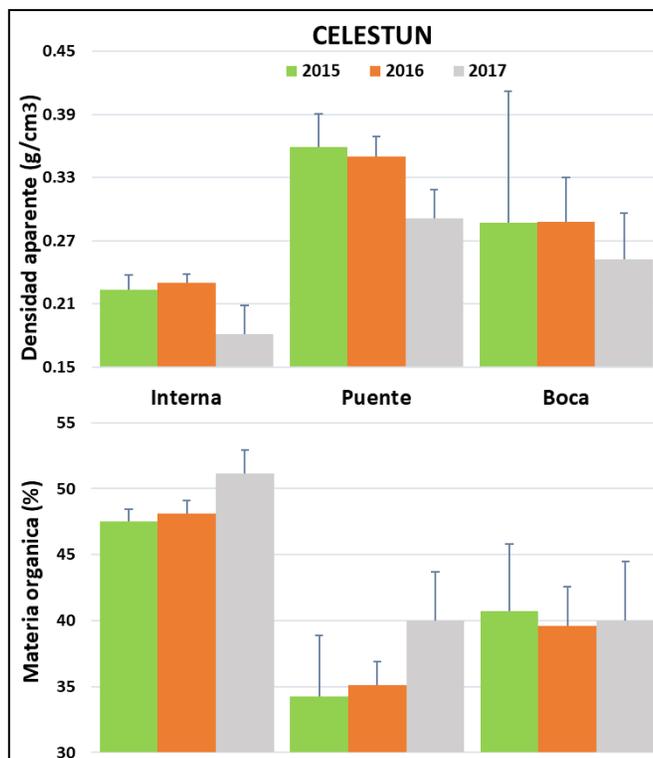


Figura 116. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún en 2015, 2016 y 2017.

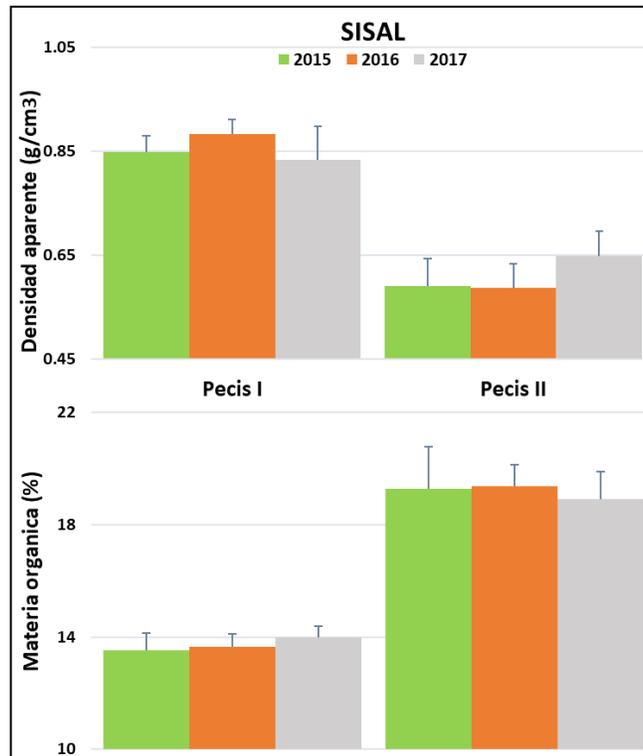


Figura 117. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal en 2015, 2016 y 2017.

Progreso: En la localidad de Progreso el sitio Chelem I presenta mayor densidad de sedimento que los otros sitios sin embargo se registra una disminución de 0.76 g/cm^3 en 2015 a 0.74 g/cm^3 en 2016 y a 0.72 g/cm^3 en 2017. La densidad del sedimento en Contenedores disminuyó de 0.36 g/cm^3 en 2015 a 0.28 g/cm^3 en 2016 y a 0.16 g/cm^3 en 2017, mientras que Chelem II se mantuvo estable los dos primeros años (0.29 g/cm^3) aumentando a 0.33 g/cm^3 en 2017.

En relación con el contenido de materia orgánica, Chelem II presenta valores más bajos con respecto a los otros sitios y presentó un incremento pasando de 19.8% en 2015 a 19.9% en 2016 y a 20.9% en 2017. En el sitio Contenedores los sedimentos tienen mayor porcentaje de materia orgánica, registrando un incremento de 2% en un año pasando de 36.7% en 2015 a 38.5% en 2016 y a 39.2 en 2017. Chelem I por su parte conservó constante su contenido de materia orgánica con 27.1% los dos primeros años, disminuyendo a 22.1% en 2017 (Fig. 118).

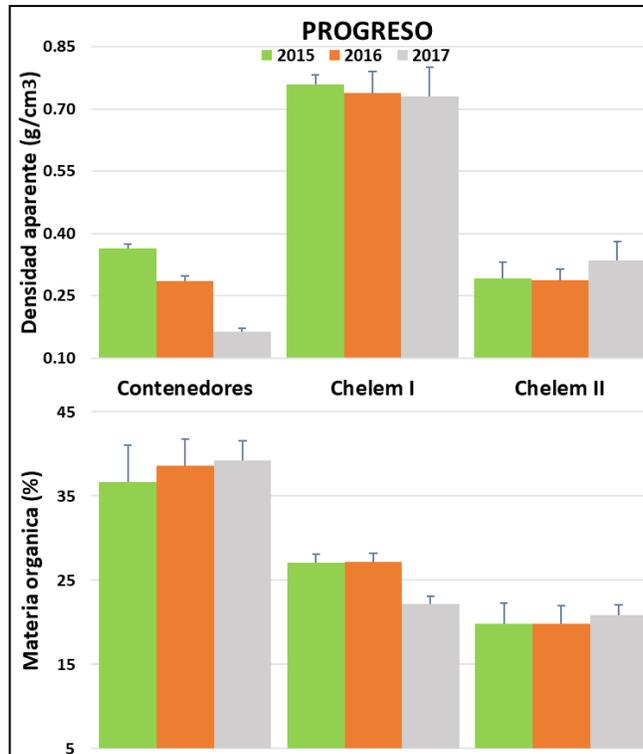


Figura 118. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso en 2015, 2016 y 2017.

Dzilam: En esta localidad el sitio Pueblo presenta mayor densidad aparente del sedimento que el sitio Elepeten, sin embargo, registró una disminución de 0.93 g/cm^3 en 2015 a 0.81 g/cm^3 en 2016 y a 0.48 g/cm^3 en 2017, mientras que Elepeten se incrementó de 0.31 g/cm^3 en 2015 a 0.32 g/cm^3 en 2016 y a 0.34 g/cm^3 en 2017.

Por otra parte, el contenido de materia orgánica es mayor en Elepeten en los tres años con respecto a Pueblo a pesar de que el primero disminuyó de 23% en 2015 a 21% en 2017 y de que el segundo se incrementó de 14.5% en el primer año a 21.5% en el tercero (Fig. 119).

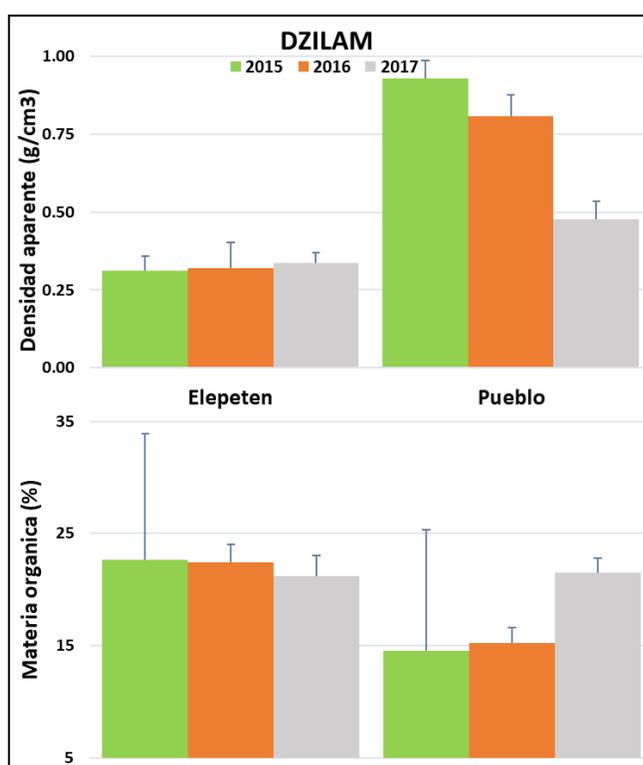


Figura 119. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Dzilam en 2015, 2016 y 2017.

Río Lagartos: En relación con las características del sedimento en la localidad del Río Lagartos, la mayor densidad se registró en el sitio El Cuyo en 2015 (0.721 g/cm^3), y la menor en Río Lagartos ese mismo año (0.141 g/cm^3). El primer sitio presenta una disminución anual de esta variable, el segundo muestra un ligero incremento, sin embargo, las variaciones interanuales no son significativas. De manera general, El Cuyo presenta sedimentos más densos que Río Lagartos a lo largo de todo el monitoreo.

Por lo que respecta a la materia orgánica, el mayor contenido se determinó en Río Lagartos en 2016 (49.1%) y la menor en El Cuyo en 2015 (8.8%). Las variaciones interanuales son de 0.1 % en ambos sitios (Fig. 120).

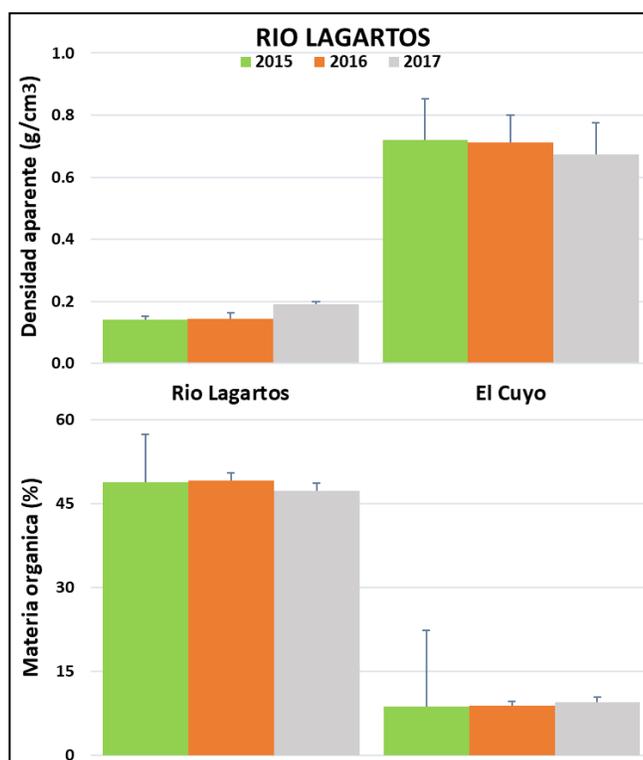


Figura 120. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos en 2015, 2016 y 2017.

Nichupté: En la localidad de Nichupté se presentan condiciones diferentes entre sitios. De manera general, Polígono 1 tiene sedimentos más densos con respecto a Polígono 9. Los cambios interanuales no fueron significativos, sin embargo, de 2015 a 2016 en ambos sitios se presentó una tendencia a disminuir la densidad aparente mientras que para 2017 en Polígono 1 ésta disminuyó a 0.27 g/cm^3 y en Polígono 9 aumentó a 0.22 g/cm^3 .

Por otro lado, la variable de contenido de materia orgánica se incrementa de 58.5% a 59.8% en Polígono 9 de 2015 a 2016 y disminuye a 48.5% en el último año. Por su parte Polígono 1 cambia de 37.7% a 38.1% en los primeros años, llegando a 40.1% en 2017 (Fig. 121).

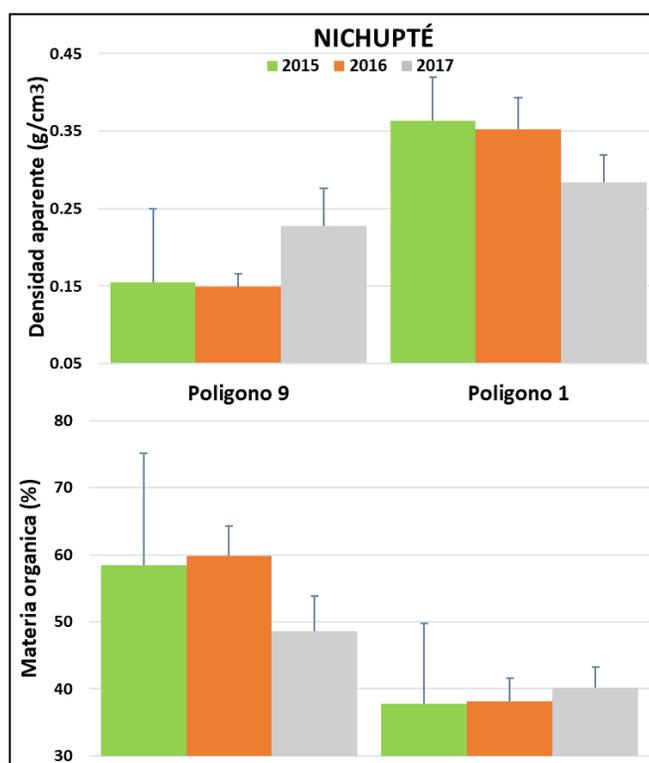


Figura 121. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Nichupté en 2015, 2016 y 2017.

Puerto Morelos: En esa localidad los sitios presentan condiciones diferentes ya que mientras La Ceiba tiene mayor densidad aparente, El CID tiene mayor contenido de materia orgánica. La densidad aparente del sedimento en La Ceiba disminuyó 0.01 g/cm³ pasando de 0.23 g/cm³ en 2015 a 0.22 g/cm³ en 2016, mientras que El CID presenta un incremento de la misma magnitud variando de 0.15 g/cm³ a 0.16 g/cm³ en el mismo periodo. En cuanto al contenido de materia orgánica La Ceiba incrementó sus valores de 39.8% a 42.1% de 2015 a 2016, mientras que El CID presentó una disminución de 75.5% a 71.8% de un año a otro (Fig. 122).

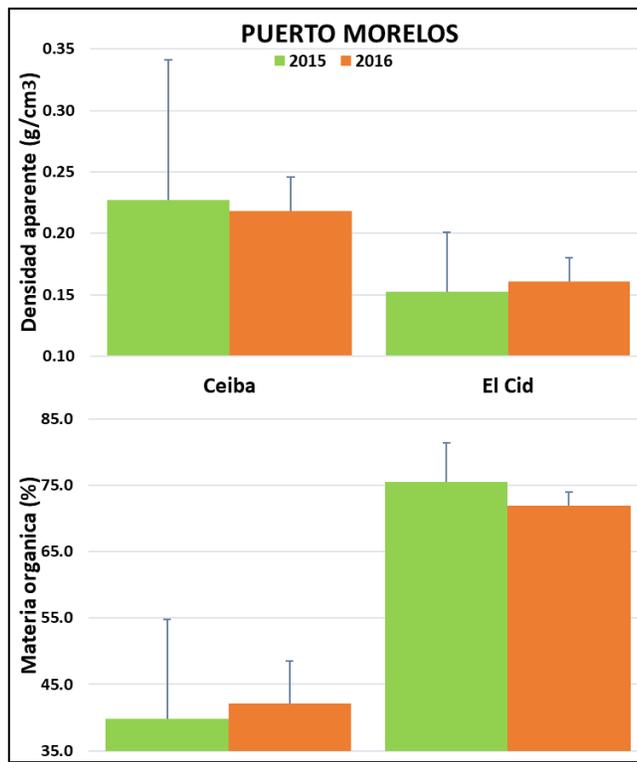


Figura 122. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Puerto Morelos en 2015 y 2016.

Mahahual: En 2015 Mahahual 4 presentó la mayor densidad de sedimento (0.39 g/cm^3), seguido de Mahahual 2 (0.34 g/cm^3), Mahahual 3 (0.26 g/cm^3) y Mahahual 1 (0.22 g/cm^3). Para 2016, Mahahual 4 y Mahahual 2 presentan una disminución en la densidad de sedimentos registrando 0.38 g/cm^3 y 0.33 g/cm^3 respectivamente, mientras que Mahahual 3 y Mahahual 1 incrementaron los valores de esta variable a 0.27 g/cm^3 y 0.23 g/cm^3 correspondientemente. En 2017 en Mahahual 1, 3 y 4 la densidad del sedimento se incrementó a 0.28 g/cm^3 , 0.32 g/cm^3 y 0.38 g/cm^3 , respectivamente, mientras que en Mahahual 2 se registró una disminución a 0.30 g/cm^3 .

Con respecto al contenido de materia orgánica el mayor porcentaje se presentó en Mahahual 3 (55%) seguido de Mahahual 1 (51%) y los menores en Mahahual 4 (38%) y Mahahual 2 (36%) durante el año 2015. Sin embargo, mientras que los sitios de Mahahual 3, Mahahual 4 y Mahahual 2 incrementaron a 55.7%, 39.3% y 37.5% en 2016, Mahahual 1 disminuyó a 50.6%. En 2017, todos los sitios disminuyeron su contenido de materia orgánica, excepto Mahahual 4, donde se incrementó a 40.7% (Fig. 123).

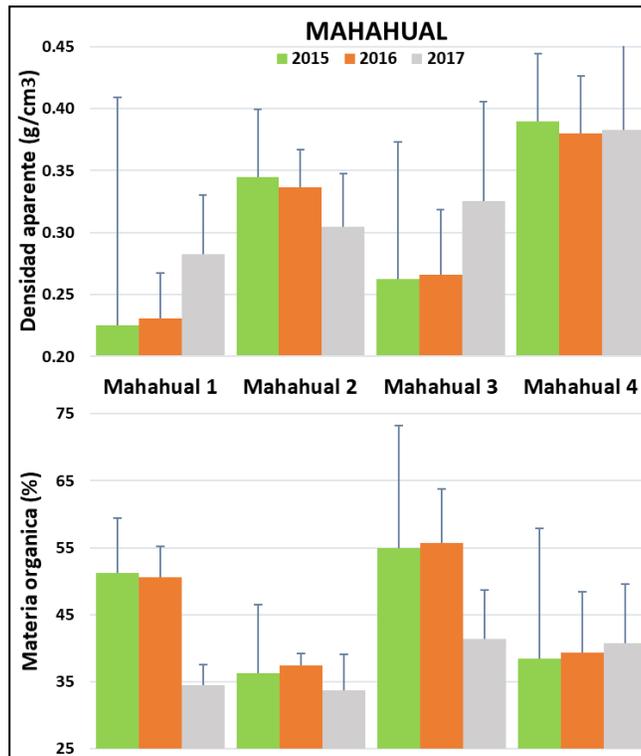


Figura 123. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Mahahual en 2015, 2016 y 2017.

Chetumal: De manera general, Tamalcab presenta una mayor densidad aparente del sedimento mientras que Río Hondo tiene un mayor contenido de materia orgánica. En 2015 en el sitio Tamalcab la densidad fue de 0.39 g/cm^3 , mientras que en el sitio Río Hondo fue de 0.31 g/cm^3 , destacando un decremento de 0.02 g/cm^3 en ambos sitios para el 2016. En 2017, la densidad en Tamalcab es de 0.31 g/cm^3 , mientras que en Río Hondo se incrementó a 0.36 g/cm^3 .

El mayor contenido de materia orgánica (39%) se registró en el 2016 en el sitio de Río Hondo, disminuyendo drásticamente a 18.7% en 2017. En Tamalcab las variaciones interanuales son mínimas, registrándose su valor más alto en 2016 (26.3%) (Fig. 124).

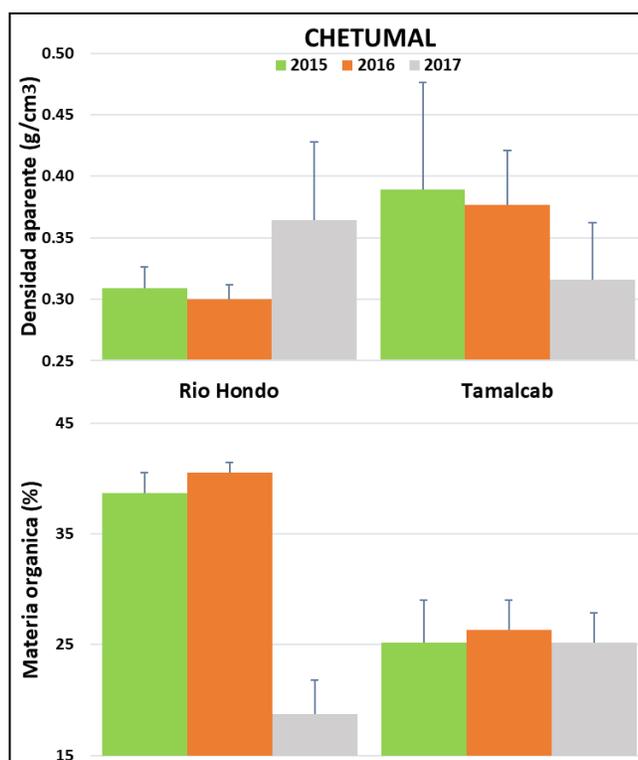


Figura 124. Densidad aparente y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Chetumal en 2015, 2016 y 2017.

Nutrientes en sedimentos

Los macronutrientes primarios como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son esenciales. La relación N:P es un indicador de los requerimientos de nutrientes de los productores primarios. Esta dinámica se modifica a través del tiempo, dependiendo de los ciclos biogeoquímicos.

Celestún: Con respecto al contenido de nutrientes en el sedimento, para fósforo total (PT) se observa que en 2015 hay un gradiente espacial de descenso: zona interna (0.142 %), seguido de puente (0.119 %) y el menor en boca (0.109 %), siendo inverso en 2016, año en que la zona Boca registró el mayor contenido de PT (0.134 %), Puente presenta 0.117 %, mientras que el sitio Interna presenta 0.106%. En 2017 se observa un descenso en el contenido de PT en los tres sitios. Con relación al contenido de nitrógeno total (NT), la zona Interna y la zona Boca registraron su mayor contenido en el año 2015 con 0.86 % y <0.46%, respectivamente, mientras que el sitio Puente presentó su mayor concentración de NT (1.20 %) en 2016. En los tres años, el sitio Boca presenta los menores valores con respecto a las otras zonas en la localidad. (Fig. 125).

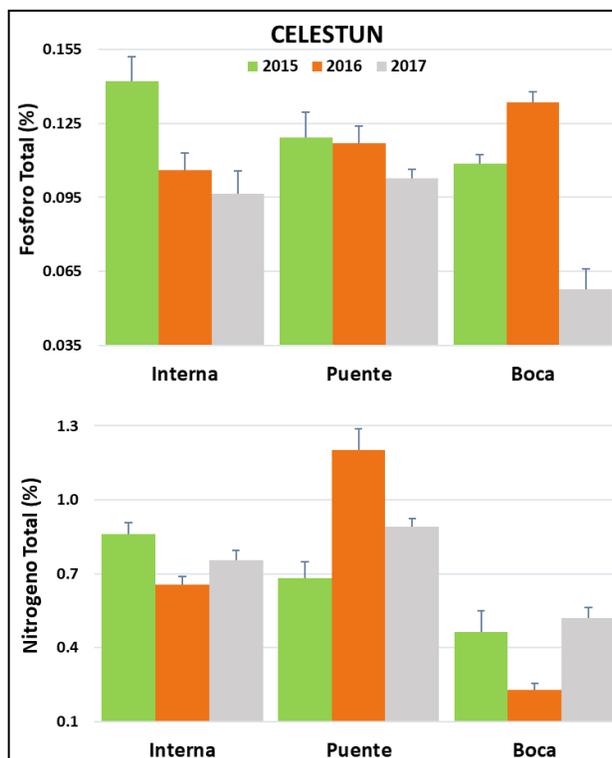


Figura 125. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún en 2015, 2016 y 2017.

Sisal: En la localidad de Sisal, el contenido de fósforo total es mayor en Pecis II con respecto a Pecis I en los tres años. Sin embargo, el valor mínimo para cada sitio se registró en 2016 (Pecis I = 0.102%, Pecis II = 0.110%). De manera general el contenido de NT es mayor en Pecis II en los tres años (2015 = 0.53%, 2016 = 0.39% y 2017 = 0.62%) comparado con Pecis I que presenta valores menores a 0.34% (Fig. 126).

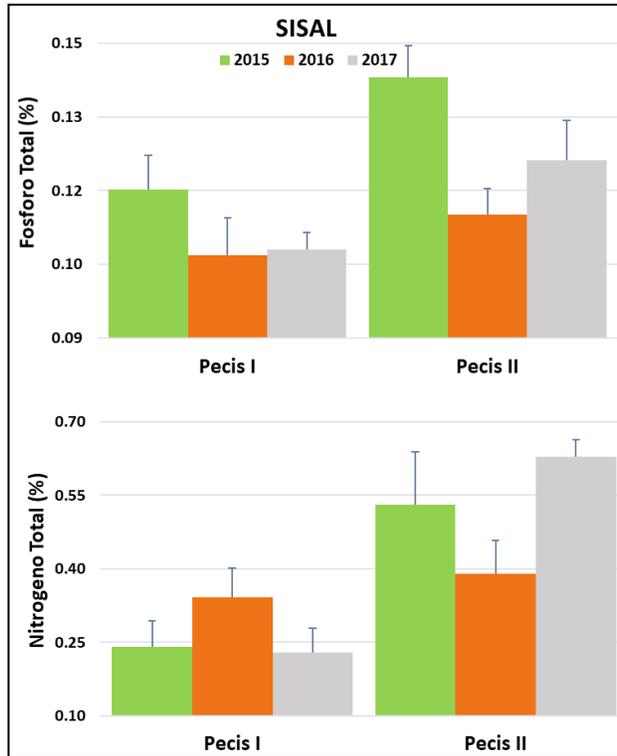


Figura 126. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal en 2015, 2016 y 2017.

Progreso: En general las concentraciones del contenido de fósforo total son bajas (<0.115%), esto probablemente debido a los procesos de absorción o precipitación de este elemento en sedimentos de tipo cárstico-carbonatado. En 2016 se observa un incremento de PT con respecto a 2015 pero en 2017 sus valores vuelven a disminuir. Por otra parte, el sitio Contenedores registró las mayores concentraciones de NT en ambos años con respecto a los otros sitios (2015=0.46%, 2016=0.39%). Los menores valores de NT se observaron en Chelem II (2015=0.22%, 2016=0.20%). En 2017, esto se invierte y Contenedores presenta el menor contenido de NT (0.12%), mientras que el mayor se registró en Chelem II (0.37%) (Fig. 127).

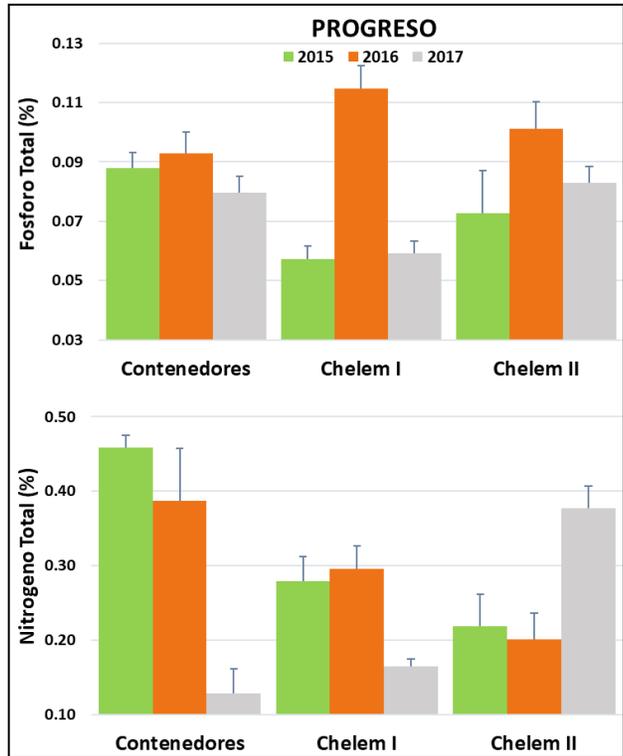


Figura 127. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso en 2015, 2016 y 2017.

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el contenido de fósforo total en los tres años es más alto en Pueblo (2015=0.125%, 2016=0.12%, 2017=0.12%) que en Elepeten (2015=0.108%, 2016=0.099%, 2017=0.09%). Por su parte, durante 2015 el sitio Pueblo tiene mayor concentración de nitrógeno total (0.73%) que el sitio Elepeten (0.48%). Los dos sitios muestran una disminución en 2016 (Elepeten=0.40%, Pueblo=0.43%) y un incremento en 2017 (Elepeten=0.56%, Pueblo=0.55%). Las relativamente altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en Pueblo pueden estar dadas por la cercanía con la comunidad (Fig. 128).

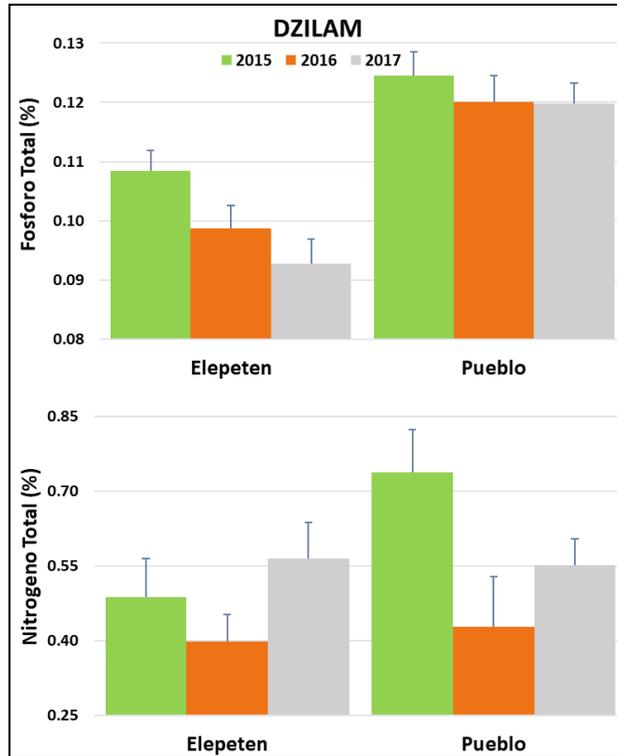


Figura 128. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam en 2015, 2016 y 2017.

Río Lagartos: En 2015 El Cuyo presenta mayor porcentaje de fósforo total (0.15%) que Río Lagartos (0.13%) mientras que en 2016 El Cuyo y Río Lagartos presentan 0.14% y 0.13%, respectivamente. En 2017, estos valores se reducen a 0.12% en ambos sitios. Por otra parte, durante 2015, el sitio Río Lagartos presenta un mayor contenido de nitrógeno total (1.08%) con respecto a El Cuyo (0.78%). En 2016, Río Lagartos presenta un incremento a 1.21%, mientras que El Cuyo disminuye a 0.70%. En 2017, en el primer sitio el valor se mantiene, mientras que en el segundo se incrementa a 1.01%. Estos valores relativamente altos de nitrógeno registrados están relacionados con la gran cantidad de materia orgánica que se descompone (Fig. 129).

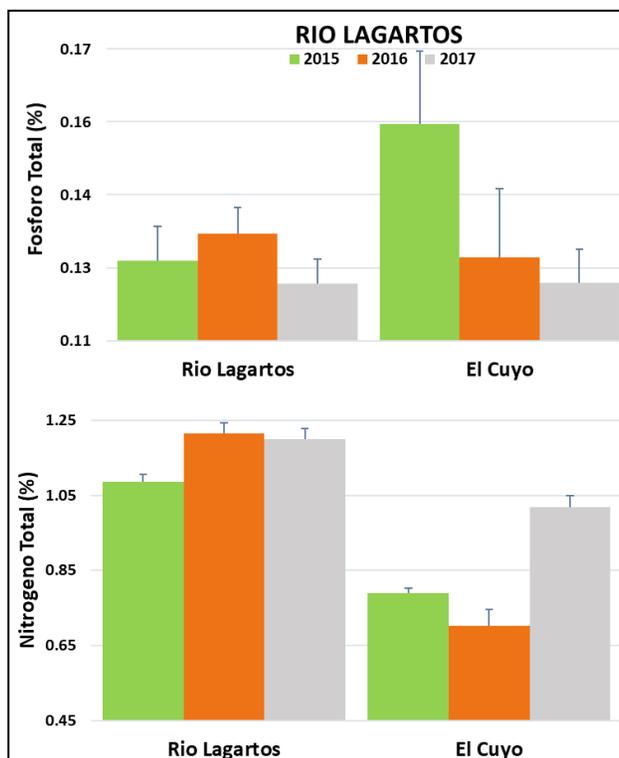


Figura 129. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos en 2015, 2016 y 2017.

Nichupté: La concentración de PT es mayor en Polígono 9 en 2015 y 2016 (0.14%, 0.135%) con respecto a Polígono 1 (0.125%, 0.13%). En 2017 esto cambia y Polígono 1 presenta más nitrógeno (0.15%) que Polígono 9 (0.06%). En cuanto a nitrógeno total, en 2015 el sitio Polígono 9 presenta valores más altos (1.84%) que Polígono 1 (1.49%). En 2016 esta tendencia se mantiene, sin embargo, Polígono 9 disminuyó a 1.78%, mientras que en Polígono 1 el nitrógeno se incrementó a 1.64%. En 2017, el contenido de NT disminuyó en ambos sitios: a 0.91% en el primero, y a 1.36% en el segundo (Fig. 130).

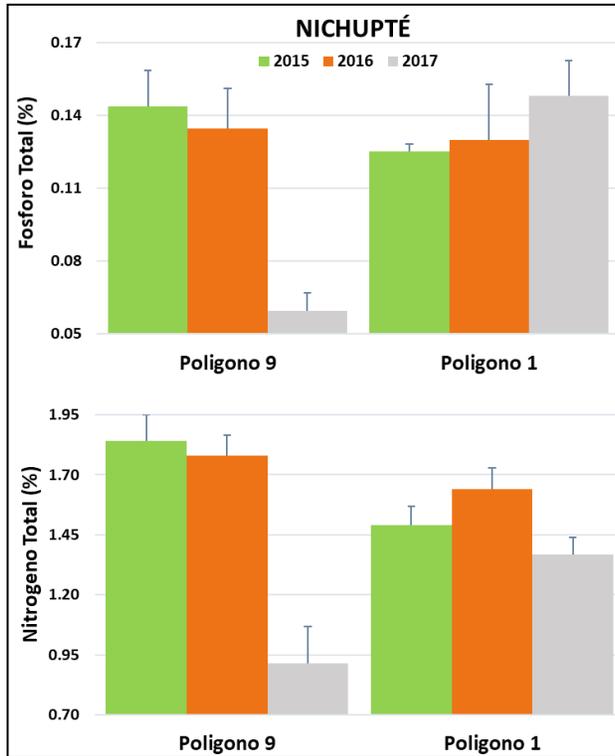


Figura 131. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Nichupté en 2015, 2016 y 2017.

Puerto Morelos: La concentración de fósforo total en 2015 va de 0.127% en CID a 0.119% en Ceiba mientras que en 2016 va de 0.129% en CID a 0.111% en Ceiba. Por su parte, en 2015 el sitio CID presenta mayor concentración de nitrógeno total (2.41%) con respecto a Ceiba (1.51%). En 2016, la concentración de NT en CID se incrementa a 2.44% mientras que en Ceiba disminuyó a 1.49%. (Fig. 132).

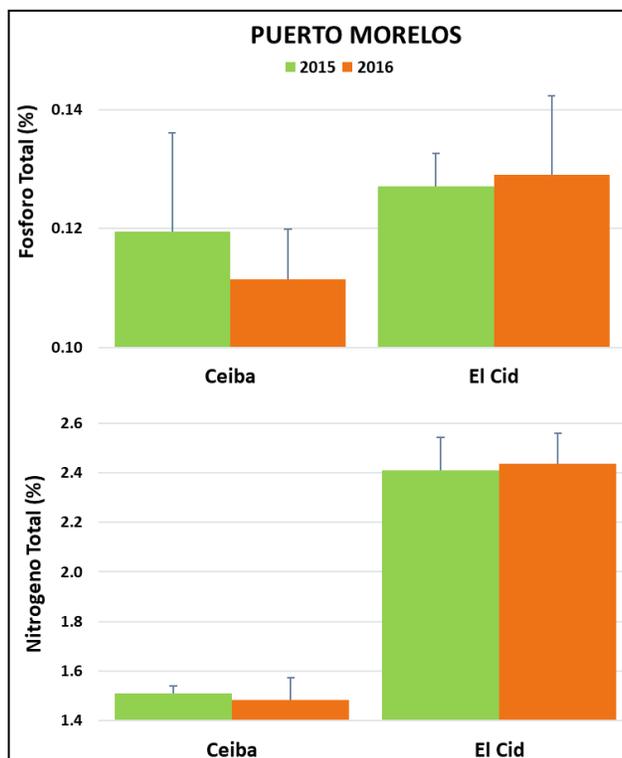


Figura 132. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos en 2015, 2016 y 2017.

Mahahual: En la localidad de Mahahual, la concentración de fósforo total presenta una tendencia a disminuir de 2015 a 2016. De manera general, la mayor concentración de PT se registró en 2015 en Mahahual 2 (0.144%), mientras que la menor se observó en Mahahual 3 en 2016 (0.036%). En 2017 la concentración más alta de PT (0.11%) se presentó en Mahahual 1. En cuanto a NT, el sitio Mahahual 2 presenta los mayores valores (2015=1.574%, 2016=1.40%, 2017=1.30%), mientras que las menores concentraciones se registraron en Mahahual 1 en 2015 y 2016 (0.612% y 0.68%, respectivamente) y en Mahahual 4 en 2017 (0.50%) (Fig. 133).

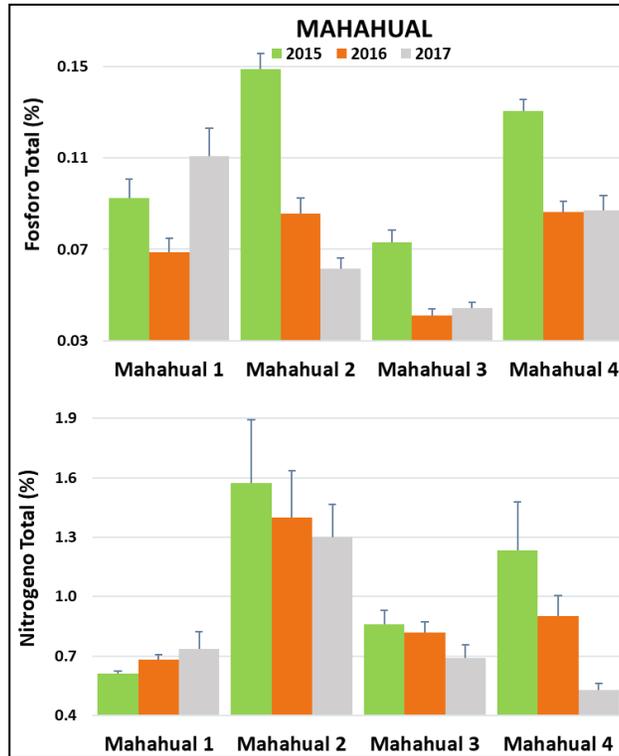


Figura 133. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Mahahual en 2015, 2016 y 2017.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, en Río Hondo presenta 0.125% de fósforo total mientras que Tamalcab tiene 0.123%. En 2016, el PT en ambos sitios disminuye a 0.87% y 0.54%, respectivamente. En 2017, en Río Hondo disminuye a 0.037% mientras que en Tamalcab se incrementa a 0.076%. En cuanto a la concentración de NT, en 2015 el sitio Río Hondo muestra mayor concentración de nitrógeno total en sedimento (1.922%) con respecto a Tamalcab (1.116%). En 2016, el contenido de NT en Río Hondo es de 1.93% mientras que en Tamalcab es de 0.59%. En 2017, ambos sitios sufren una disminución quedando el primero en 0.247% y el segundo en 0.453% (Fig. 134).

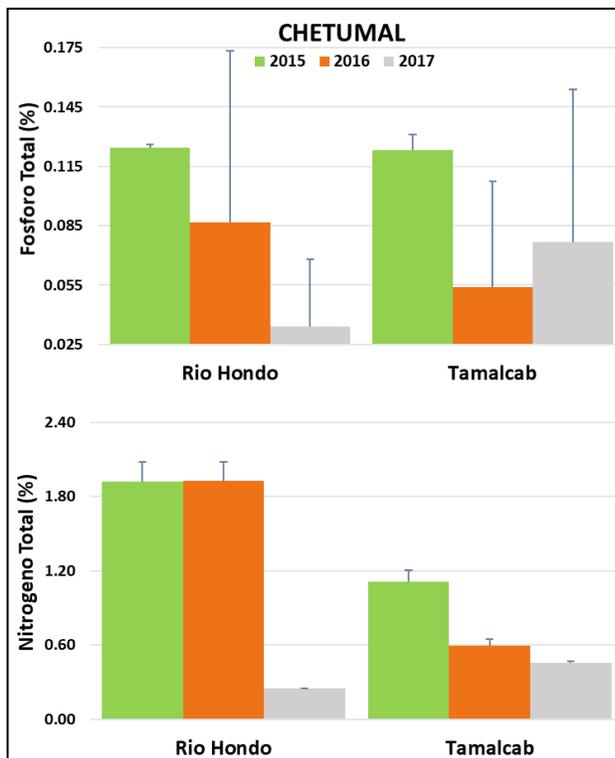


Figura 134. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal en 2015, 2016 y 2017.

3. Características del agua: Salinidad, pH y Redox

Los patrones de microtopografía e hidrología en una determinada zona dan origen a gradientes en las variables de salinidad, nutrientes, redox, pH, e incluso de algunos compuestos tóxicos como el sulfuro. Estas variables son reguladoras de las características de los manglares, por lo que su medición es importante en estudios de caracterización y monitoreo.

Salinidad intersticial

La salinidad varía de acuerdo con la dinámica hidrológica dentro del ecosistema y determina los patrones de distribución vegetal dentro del mismo.

Celestún: En esta localidad el comportamiento de la salinidad intersticial registró un aumento en el año 2016 en la mayoría de los meses. Entre sitios se observa que en Interna se registró un mayor incremento en los meses de enero (6.3 g/kg), febrero (6.5 g/kg), agosto (4.6 g/kg) y septiembre (4 g/kg), mientras que en Puente y Boca prácticamente no varió la salinidad intersticial entre 2015 y 2016. Durante 2016, en el sitio Puente la salinidad va de 28.3 a 37 g/kg, mientras que en Boca el mínimo es de 40 g/kg y el máximo de 58.2 g/kg. En 2017, el valor más alto de salinidad (55.9 g/kg) se registró en enero en Boca, mientras que el menor (17.02 g/kg) se observó en febrero en la zona Interna (Fig. 135).

Sisal: La salinidad intersticial de la localidad de Sisal presentó diferente comportamiento entre los meses de los tres años. En 2015, los dos sitios registraron sus mayores salinidades durante los meses de enero (76.1 g/kg y 68 g/kg, respectivamente), mientras que la salinidad menor en Pecis I (19.7 g/kg) se registró en mayo, y en Pecis II (25.3 g/kg) fue en marzo. Durante 2016, para Pecis I la máxima salinidad fue de 37.5 g/kg registrada en enero mientras que en Pecis II fue de 49.8 g/kg registrada en julio. En 2017 la salinidad más alta (41.4 g/kg) ocurrió en Pecis II en febrero mientras que la menor (22.45 g/kg) se registró en Pecis I en marzo (Fig. 136).

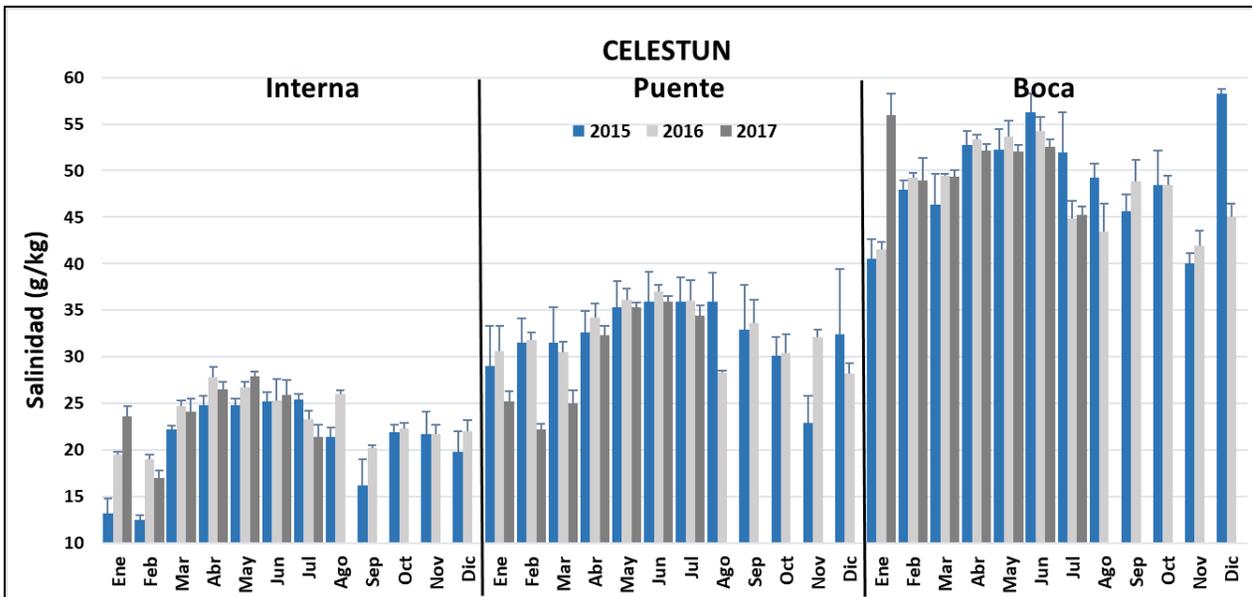


Figura 135. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Celestún en 2015, 2016 y 2017.

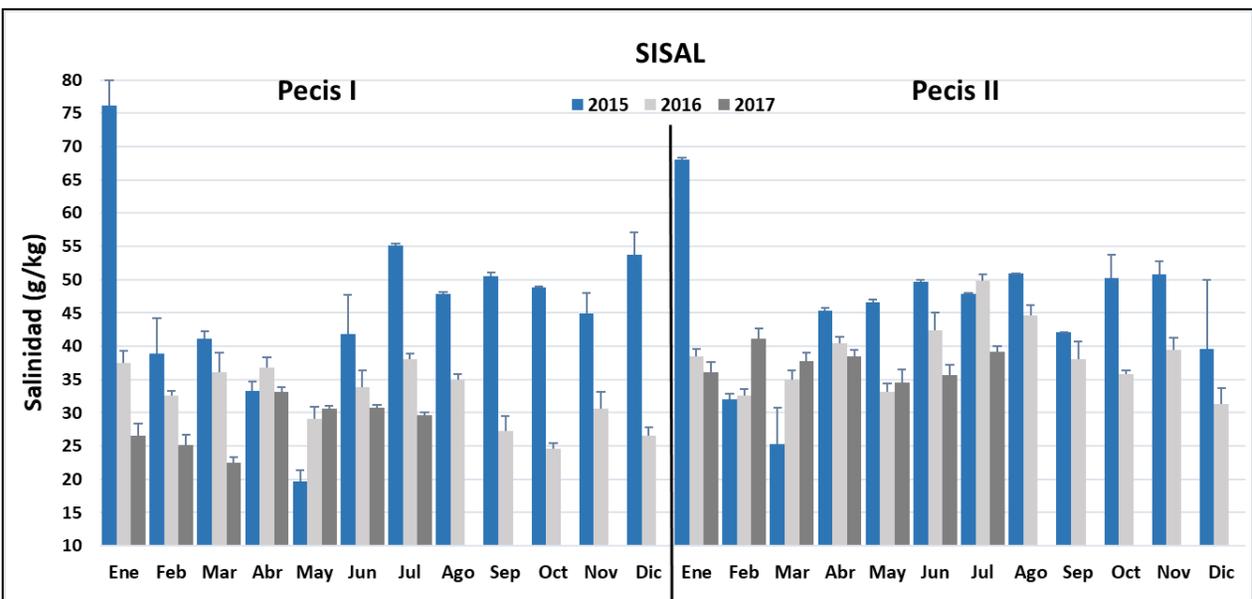


Figura 136. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Sisal en 2015, 2016 y 2017.

Progreso: En la localidad de Progreso la salinidad presenta diferente comportamiento entre sitios. Durante 2015, en Contenedores la máxima salinidad se observó en mayo (63.1 g/kg) mientras que la mínima fue de 25.05 g/kg en diciembre. En el sitio Chelem I el mes de noviembre presentó la salinidad máxima (75.4 g/kg) mientras que julio registró la mínima (33.8 g/kg). Por su parte, Chelem II, registra las salinidades máximas en marzo (66.2 g/kg) y las mínimas en 28.9 g/kg en el mes de julio. Durante 2016 las máximas salinidades fueron de 68.5 g/kg, 70.5 g/kg y 66.01 g/kg registradas en el mes de marzo en Contenedores, Chelem I y Chelem II, respectivamente; mientras que las mínimas se observaron en abril en Contenedores (46.2 g/kg), mayo en Chelem I (59.7 g/kg) y agosto en Chelem II (51.5 g/kg). Durante 2017, la salinidad más alta (67.6 g/kg) se registró en febrero en Chelem I, mientras que la más baja corresponde a 35.21 g/kg en enero en Contenedores (Fig. 137).

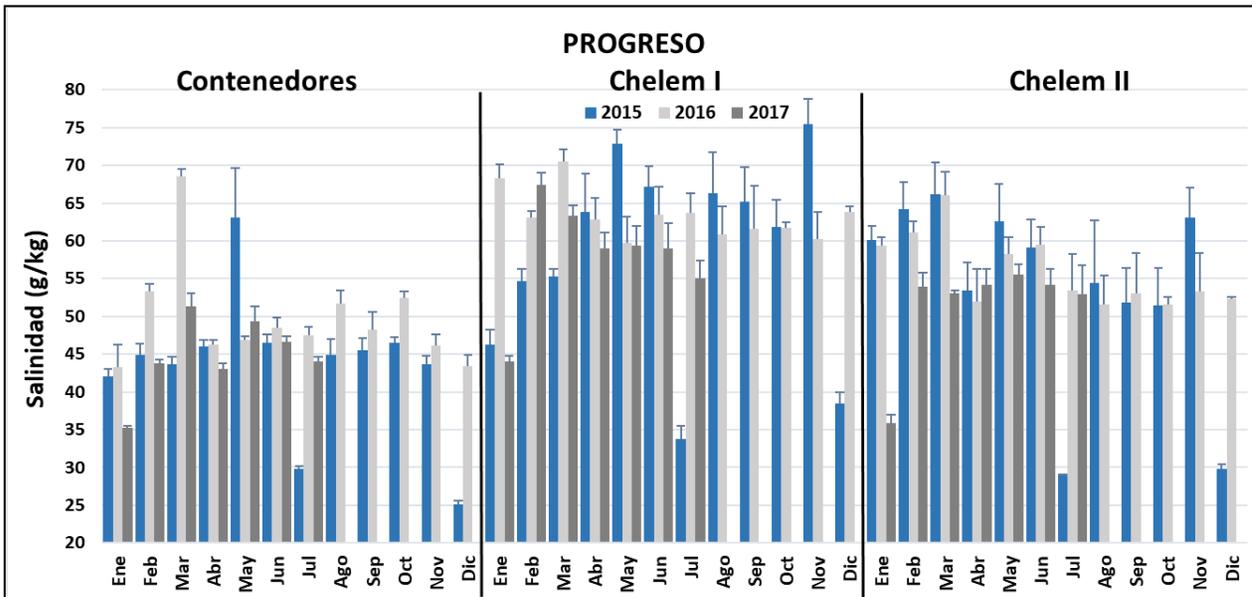


Figura 137. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Progreso en 2015, 2016 y 2017.

Dzilam: De manera general, todos los meses muestran un incremento en la salinidad intersticial de 2015 a 2016 y una gran variabilidad en los cambios para 2017 en ambos sitios. Durante 2015, el sitio de Elepeten presentó las salinidades más altas con respecto al sitio del Pueblo. La salinidad más alta en Elepeten ocurrió durante el mes de junio (55 g/kg) y la menor fue registrada en diciembre (35.5 g/kg). En el sitio llamado Pueblo la salinidad más baja se observó el mes enero (27.1 g/kg) y la más alta en octubre con 45.2 g/kg. Durante 2016, el sitio Elepetén tiene su salinidad máxima en junio (62.4 g/kg) y la mínima en enero (45.8 g/kg) mientras que el sitio Pueblo presenta salinidad máxima en marzo (57.1 g/kg) y la mínima en septiembre con 28.23 g/kg. En 2017, la salinidad máxima se ha registrado en mayo en Elepeten con 28.23 g/kg y la mínima en febrero en Pueblo con 38.61 g/kg (Fig. 138).

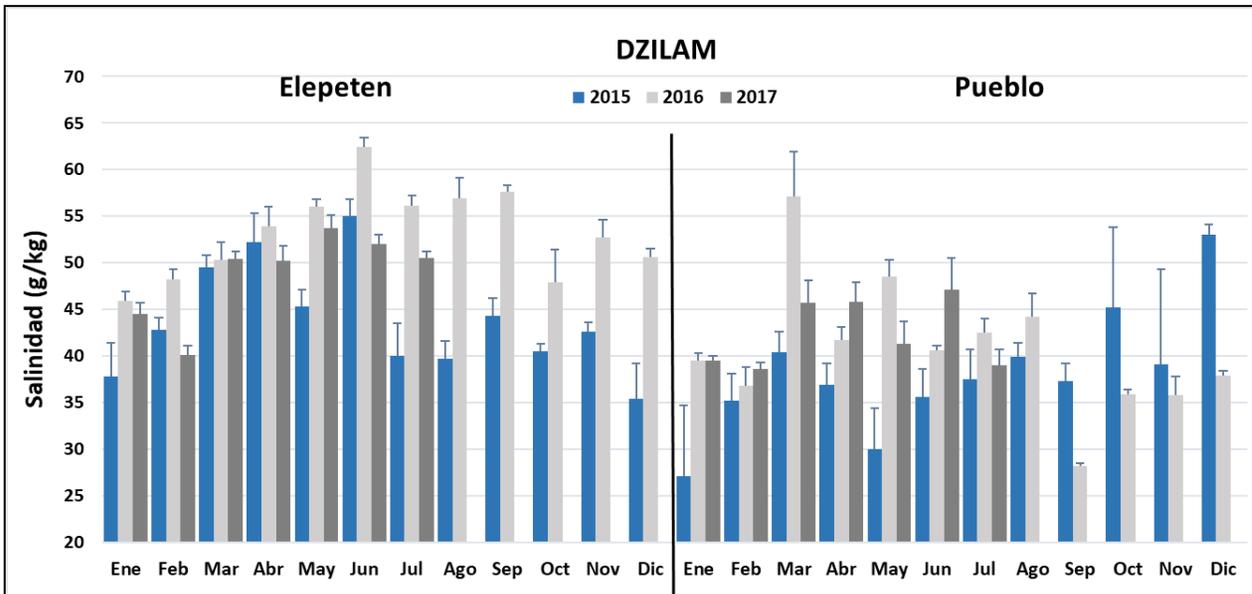


Figura 138. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Dzilam en 2015, 2016 y 2017.

Río Lagartos: En la localidad durante 2015 las salinidades más altas en Río Lagartos se observaron durante el mes de abril (33 g/kg), mientras que el valor menor se observó en febrero (9.3 g/kg). En el sitio de El Cuyo se observaron las salinidades más altas son durante abril (33.8 g/kg) mientras que la menor salinidad se registró en julio con 9.6 g/kg. En el año 2016, las máximas salinidades se observadas fueron de 25.4 g/kg en abril para Río Lagartos y de 22.3 g/kg en junio para El Cuyo. Las mínimas salinidades se registraron en septiembre para Río Lagartos (9.12 g/kg) y en octubre para El Cuyo (9.8 g/kg). En 2017, la salinidad más alta se observó en Río Lagartos en el mes de mayo (20.0 g/kg) mientras que la menor se registró en febrero en el mismo sitio (11.18 g/kg) (Fig. 139).

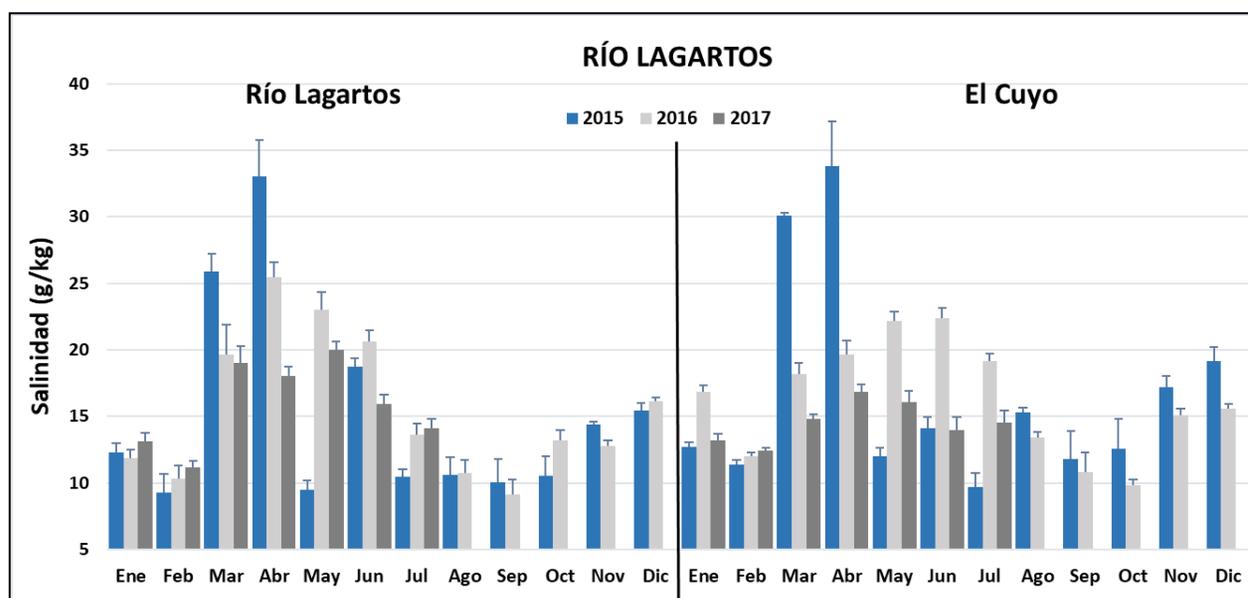


Figura 139. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Río Lagartos en 2015, 2016 y 2017.

Nichupté: En el año 2015, en el sitio de Polígono 9 se registraron salinidades con pocas variaciones entre todos los meses siendo el mes de enero (38.1 g/kg) el que presenta más alta salinidad, en el mes de septiembre se registró la salinidad más baja con 31.2 g/kg mientras que en el sitio de Polígono 1 la salinidad más alta fue en el mes de enero (34.6 g/kg) y la más baja en septiembre (16.8 g/kg). Para el año 2016, las máximas salinidades se observaron en diciembre (37.23 g/kg) en Polígono 9 y en junio (31.01 g/kg) en Polígono 1. Por otro lado, las mínimas fueron de 31.1 g/kg durante agosto en Polígono 9 y de 19.3 g/kg en septiembre en Polígono 1. En 2017 la máxima salinidad se registró en enero en Polígono 9 (40.51 g/kg), mientras que la mínima corresponde a marzo en Polígono 1 (22.95 g/kg) (Fig. 140).

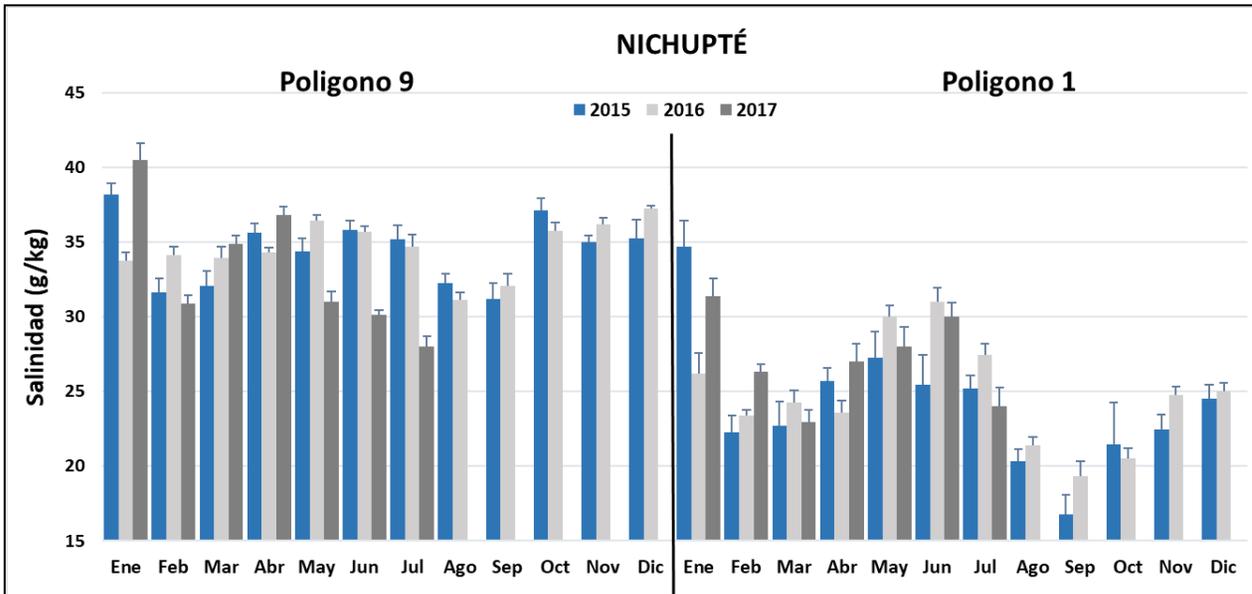


Figura 140. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Nichupté en 2015, 2016 y 2017.

Puerto Morelos: El aporte de agua en la localidad de Puerto Morelos es vía escorrentía y subterráneo, por lo que la salinidad intersticial no es muy alta con respecto a otras localidades. En el 2015, en el sitio de La Ceiba durante enero la salinidad fue de 19.6 g/kg, siendo la más alta con respecto a los otros meses mientras que la mínima salinidad registrada fue de 11.2 g/kg en septiembre. Durante ese mismo año, el sitio llamado El Cid presenta una salinidad máxima de 16.2 g/kg en el mes de enero mientras que la mínima se registró en agosto (13.6 g/kg). Por otra parte, en 2016 La Ceiba presenta la salinidad más alta en junio (17.9 g/kg) y la más baja en noviembre con 12.92 g/kg mientras que El Cid presenta su máxima salinidad en julio (16.1 g/kg) y la mínima en marzo (13.8 g/kg). En lo que va del 2017, la salinidad máxima registrada (16.13 g/kg) corresponde a El Cid en marzo mientras que la mínima (14.5 g/kg) se registró en La Ceiba en febrero (Fig. 141).

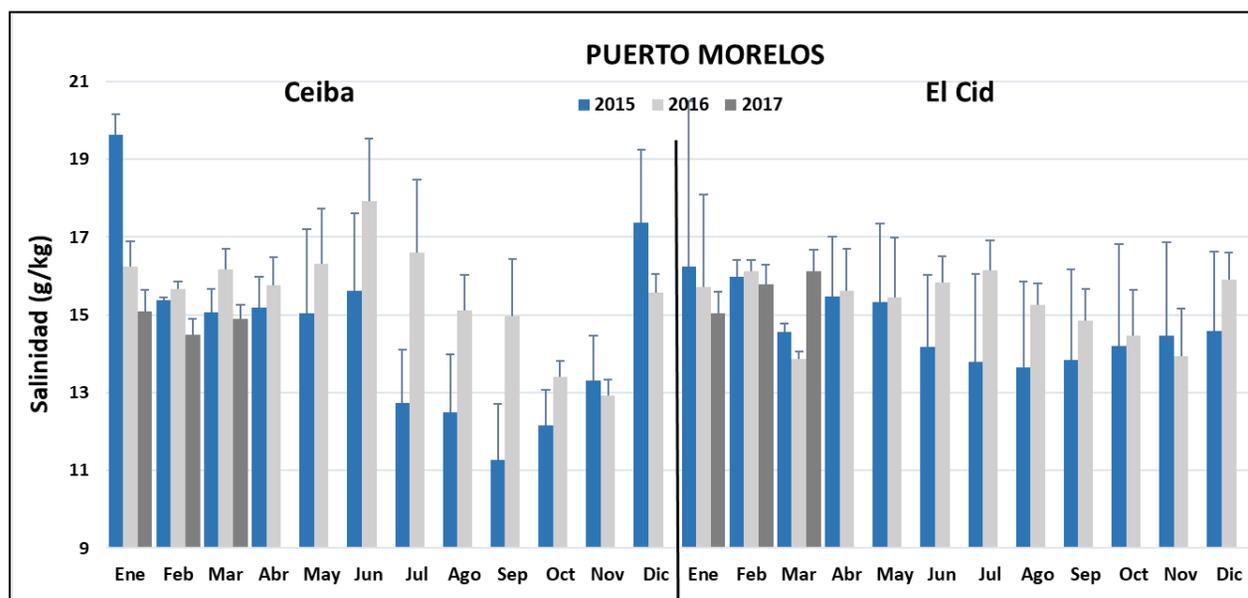


Figura 141. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Puerto Morelos en 2015, 2016 y 2017.

Mahahual: De manera general, la salinidad intersticial en Mahahual 1 y 2 son menores a 2 g/kg, lo que contrasta con las relativamente altas salinidades de los sitios Mahahual 3 y 4. Durante 2015, el sitio de Mahahual 1 registró salinidades más bajas respecto a los demás sitios, siendo el valor mayor en marzo con 1.35 g/kg y el menor en noviembre (0.8 g/kg). Mahahual 2 registró las salinidades más altas en los meses de febrero (1.6 g/kg) y octubre (1.7 g/kg) y en marzo el menor (0.5 g/kg). En Mahahual 3 las salinidades más altas fueron en mayo y junio con 5 g/kg y disminuyeron a 2.8 g/kg en noviembre. En Mahahual 4 la salinidad más alta es de 5.8 g/kg en el mes de marzo y la más baja en noviembre con 3 g/kg. Con respecto a 2016, Mahahual 1 sigue siendo el sitio con las menores salinidades registradas, encontrando su mayor salinidad (1.5 g/kg) en abril y la menor (0.88 g/kg) en septiembre. Mahahual 2 registró la salinidad más alta en octubre (1.62 g/kg) y la más baja en marzo (1.03 g/kg). En Mahahual 3 las salinidades más altas se presentaron en mayo (5.12 g/kg) y las mínimas en noviembre (3.18 g/kg). En Mahahual 4 la salinidad más alta es de 5.28 g/kg en el mes de mayo y la más baja en noviembre con 3.4 g/kg. En 2017, la salinidad más alta se registró en Mahahual 4 en el mes de marzo (5.2 g/kg) y la mínima en junio con 0.98 g/kg en Mahahual 2 (Fig. 142).

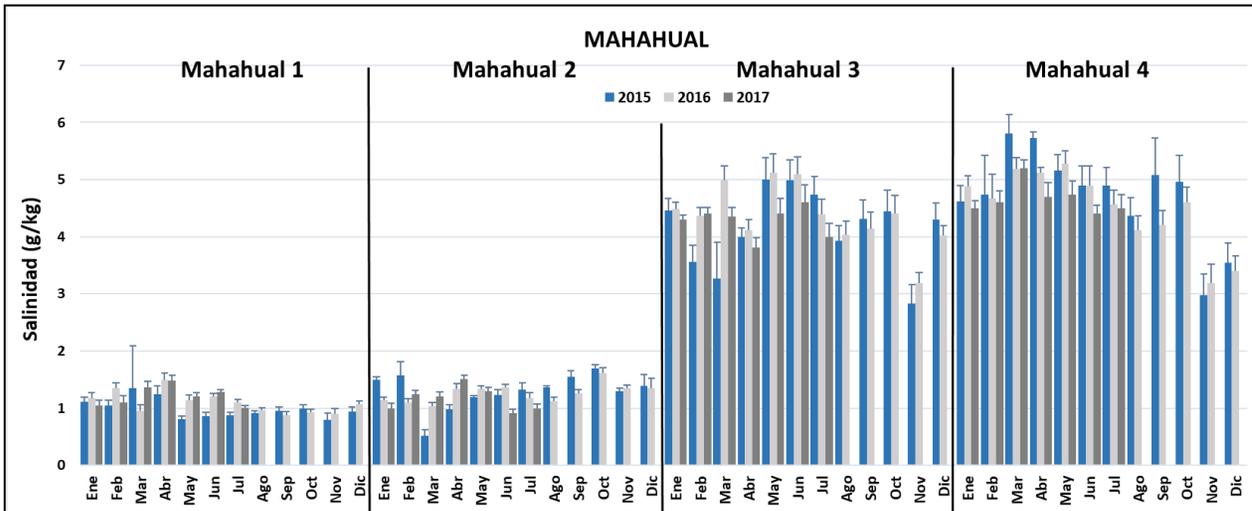


Figura 142. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Mahahual en 2015, 2016 y 2017.

Chetumal: De manera general, la salinidad intersticial es diferente entre sitios ya que mientras Río Hondo tiene salinidades bajas (<7 g/kg), Tamalcab tiene salinidades superiores a 25 g/kg. En 2015, Río Hondo presenta su menor salinidad en septiembre (2 g/kg) y la mayor en abril (5.9 g/kg). Tamalcab presentó la mayor salinidad en el mes de agosto con 50.7 g/kg y el mes noviembre tuvo los valores más bajos de esta variable (25 g/kg). En 2016 la salinidad más baja para Río Hondo se presentó en marzo (2.8 g/kg) y la más alta en abril (6.5 g/kg) mientras que en Tamalcab tuvo la salinidad más baja en diciembre (17.3 g/kg) y la más alta en marzo con 43.8 g/kg. En 2017, la salinidad más alta se presentó en Tamalcab en el mes de marzo (39.03 g/kg), mientras que la mínima se registró en febrero en Río Hondo (4.89 g/kg) (Fig. 143).

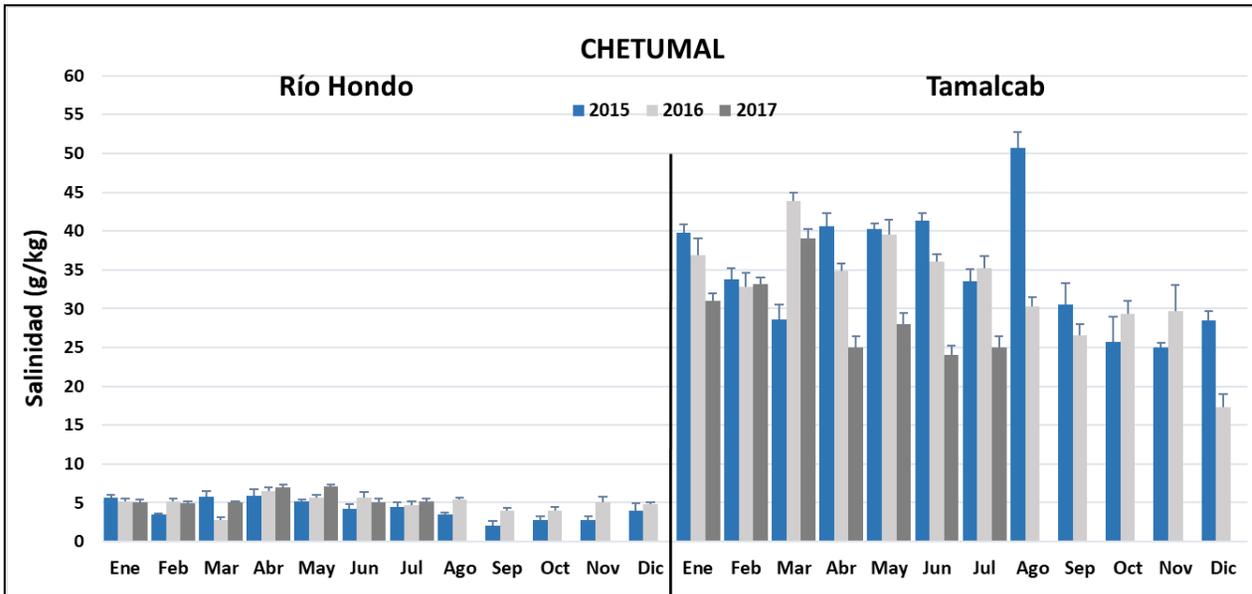


Figura 143. Variación mensual de la salinidad intersticial de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Chetumal en 2015, 2016 y 2017.

Ph y Redox

Las variaciones de pH durante los muestreos de monitoreo no presentan el mismo patrón en todos los sitios, lo cual podría estar asociado a la combinación de los procesos de descomposición de la materia orgánica acumulada en los sedimentos y/o a la frecuencia y tiempo de inundación de cada localidad. El potencial Redox mide el flujo de electrones durante el proceso de óxido-reducción de la materia orgánica y tiene relación con el pH, ya que las reacciones Redox vienen acompañadas de cambios en el pH. Estas variables se relacionan con la frecuencia y tiempo de inundación y son indicativas del proceso de descomposición de materia orgánica, y de un proceso importante como es el almacenamiento de carbono orgánico, por lo que las mediciones se realizaron con respecto a las estaciones o épocas climáticas: secas (de marzo a mayo), lluvias (de junio a octubre) y nortes (de noviembre a febrero).

Celestún: Durante 2015, el pH más alto se observa en la temporada de nortes para los tres sitios de Celestún, siendo el sitio Boca el que presenta un mayor pH (7.4) con respecto a los otros sitios de la localidad, lo cual representa suelos ligeramente más básicos. El menor valor de pH (6.9) se observó en Puente y Boca durante la temporada de secas. Durante la temporada de lluvias, el sitio Puente obtuvo el pH más alto (7.0) con respecto a los otros sitios. En 2016 el pH más alto (7.58) se observa en la temporada de nortes en el sitio Boca. El menor valor de pH (6.88) se observó en el sitio Puente durante la temporada de lluvias. En 2017, el valor más alto de pH se registró en Puente durante la temporada de nortes (7.2), mientras que el menor se presentó en la zona Boca en la temporada de lluvias (6.7).

En cuanto al potencial Redox, en 2015 de manera general el sitio conocido como Boca presenta condiciones más reducidas con respecto a los otros sitios en todas las temporadas (nortes: -326 mV, secas: -294 mV y lluvias: -362 mV). El sitio denominado Puente tiene los valores menos negativos de potencial Redox durante las tres temporadas (nortes: -189 mV, secas: -150 mV y lluvias: -209 mV). Las condiciones anóxicas (valores más negativos) se presentan en la temporada de lluvias, lo cual está dado por prolongados periodos de inundación. En 2016, el valor más reducido (-343 mV) corresponde a la temporada de nortes en el sitio Boca y el menos

reducido (-199 mV) se observó en la misma temporada en el sitio Puente. En 2017, el potencial Redox tiene valores menos reducidos con respecto a los años anteriores en los tres sitios, sin embargo, el valor más reducido en el ciclo anual se registró en la zona de la Boca en la temporada de lluvias (-297.98 mV) (Fig. 144).

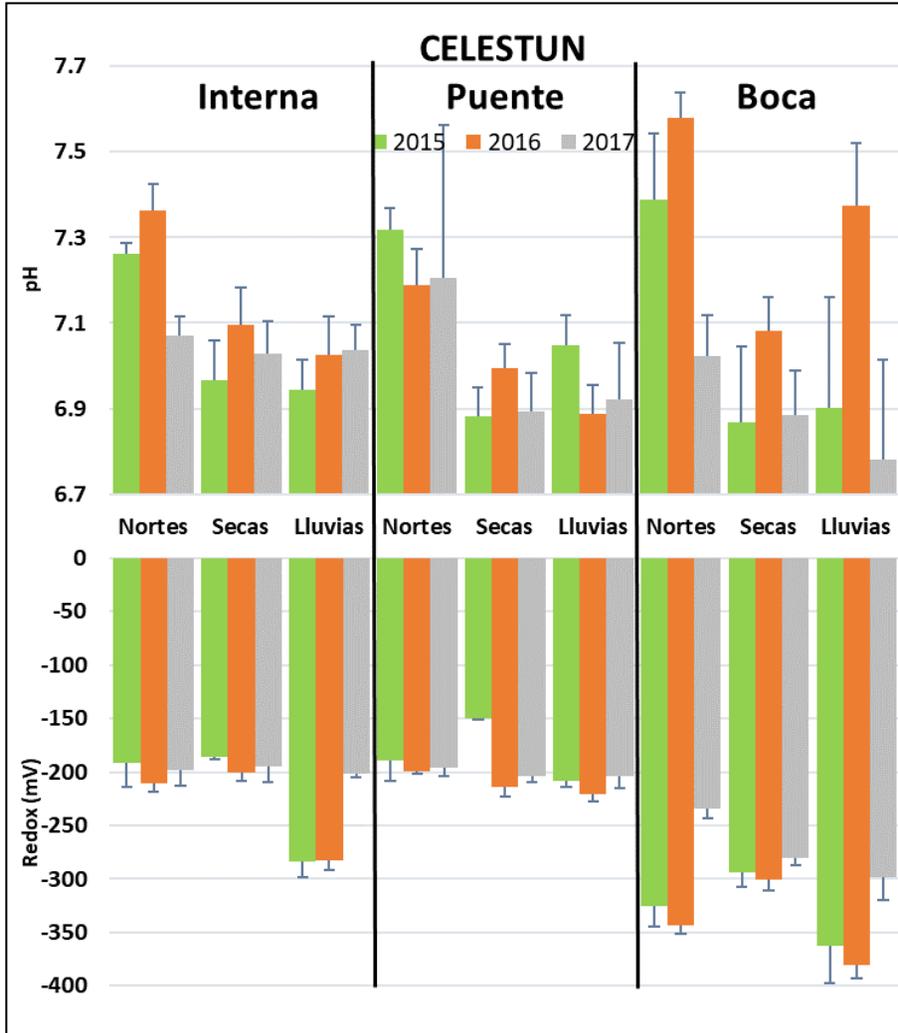


Figura 144. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Celestún en 2015, 2016 y 2017.

Sisal: Durante la temporada de nortes el sitio Pecis I presenta pH más alto (7.41 y 7.5 para 2015 y 2016, respectivamente). En 2015, Pecis I muestra una disminución gradual de su pH conforme transcurren las temporadas (nortes: 7.41, secas: 7.26, lluvias: 6.98) mientras que en Pecis II el mayor valor se presenta en secas (7.29) y el menor en lluvias (6.82). Para 2016, el pH más alto (7.52) se observó en la temporada de nortes en Pecis I, mientras que el más bajo se presentó en lluvias en Pecis II con

6.86. En 2017 el pH más alto se registró en Pecis I en la temporada de secas (7.5) y el más bajo en Pecis II en la misma temporada (7.1).

En cuanto potencial redox los dos sitios presentan un gradiente de ambientes menos reducidos a ambientes más reducidos a medida que cambian las temporadas de nortes, secas y lluvias. En 2015, durante la temporada de lluvias Pecis II tiene valores más reducidos (-176.6 mV) con respecto a las otras temporadas y con respecto a Pecis I. Por el contrario, el valor menos reducido (-89 mV) se observó en Pecis II durante la temporada de nortes. En 2016, el valor más negativo corresponde a -164 mV registrados en la temporada de lluvias en Pecis II. En 2017 se mantiene el patrón de condiciones más reducidas en la temporada de lluvias con respecto a las otras temporadas. Las condiciones más reducidas este año (-117.2 mV) se registraron en la temporada de lluvias en Pecis II y las menos reducidas (-87.02 mV) en la temporada de nortes en el mismo sitio (Fig. 145).

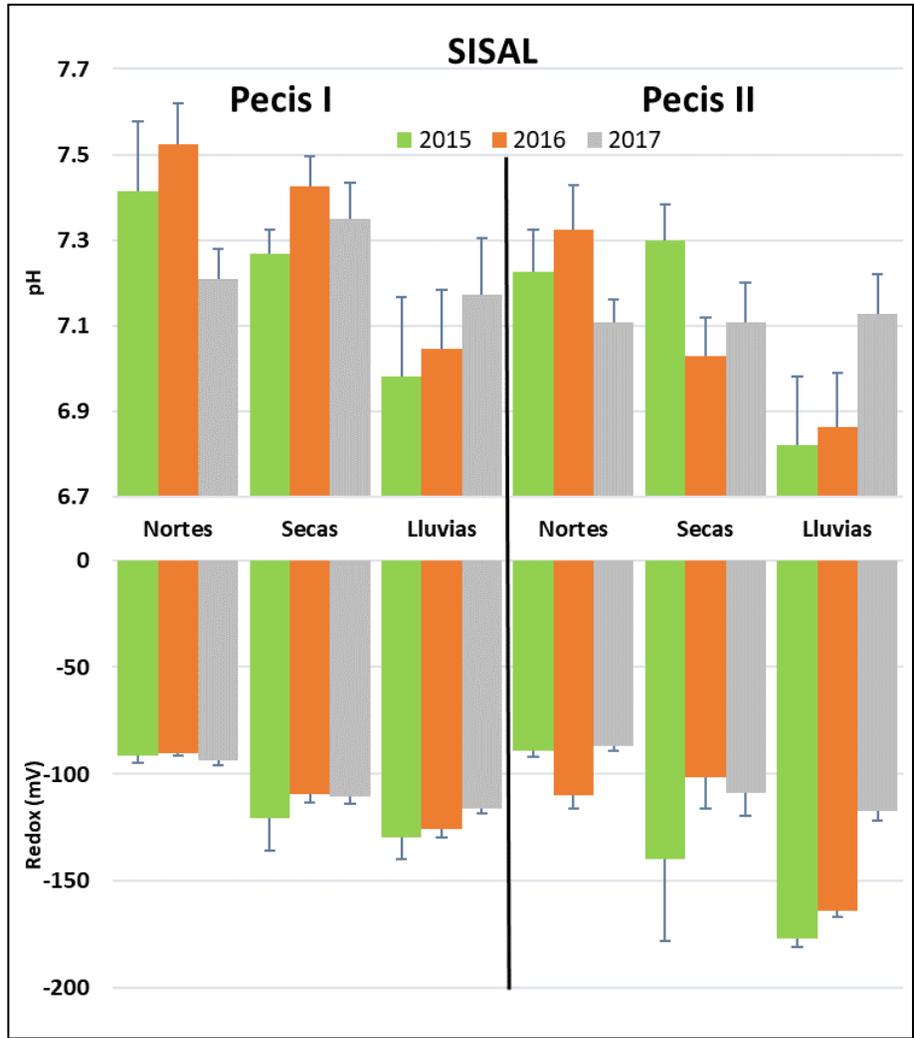


Figura 145. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Sisal en 2015, 2016 y 2017.

Progreso: En 2015 los valores más altos de pH se registraron en la temporada de secas. El sitio Chelem I presenta los valores más altos de pH con respecto a los otros sitios en todas las temporadas (nortes: 6.99, secas: 7.33 y lluvias: 6.66), lo cual significa que tiene condiciones más alcalinas. En general, el valor de pH más bajo fue observado en Contenedores durante la temporada de nortes (6.42). En 2016, el valor más alto de pH (7.11) corresponde a la temporada de secas tanto en Contenedores como en Chelem I, mientras que el valor mínimo (5.98) se registró durante la temporada de nortes en Contenedores. En 2017, el valor más alto (7.18) se observó en Chelem I en la temporada de secas y el mínimo (6.63) en Contenedores en la temporada de lluvias.

Por otra parte, en 2015 el sitio Chelem II presenta los valores más negativos de Redox en las tres temporadas (nortes: -228.75 mV, secas: -210.94 mV y lluvias: -298 mV). Los valores menos reducidos de esta variable (-128 mV) corresponden a la temporada de secas en el sitio Contenedores en 2015 y 2016. En 2017 el valor más reducido (-271.12 mV) corresponde a Contenedores en la temporada de nortes mientras que el menos (-155.96 mV) se registró en el mismo sitio en la temporada de secas (Fig. 146).

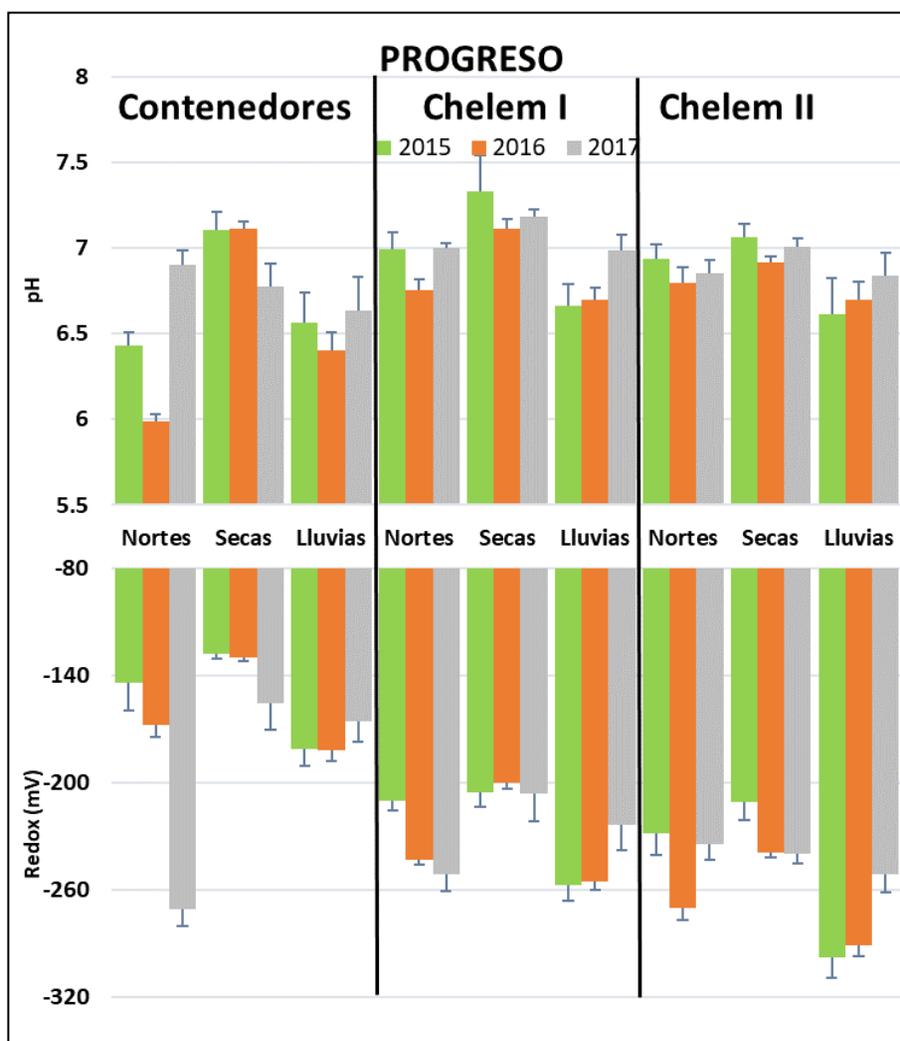


Figura 146. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Progreso en 2015, 2016 y 2017.

Dzilam: En cuanto a pH, Elepeten y Pueblo presentan un gradiente que va de valores más altos en nortes, valores intermedios en secas a valores más bajos en

lluvias. El valor más alto de pH registrado (7.77) se presentó en Elepeten en la temporada de nortes de 2015, mientras que el menor (6.87) corresponde a la temporada de lluvias en el mismo año y en el mismo sitio.

En cuanto al potencial Redox, el sitio Pueblo tiene valores mucho más negativos que Elepeten, lo cual implica que en Pueblo el agua intersticial presenta condiciones más reducidas. Los valores de potencial Redox presentan una disminución (se hacen más negativos) de nortes a lluvias, registrándose el valor más negativo (- 319.6 mV) en Pueblo en la temporada de lluvias 2015 y el menos reducido en secas de 2016 en Elepeten (- 90.92 mV) (Fig. 147).

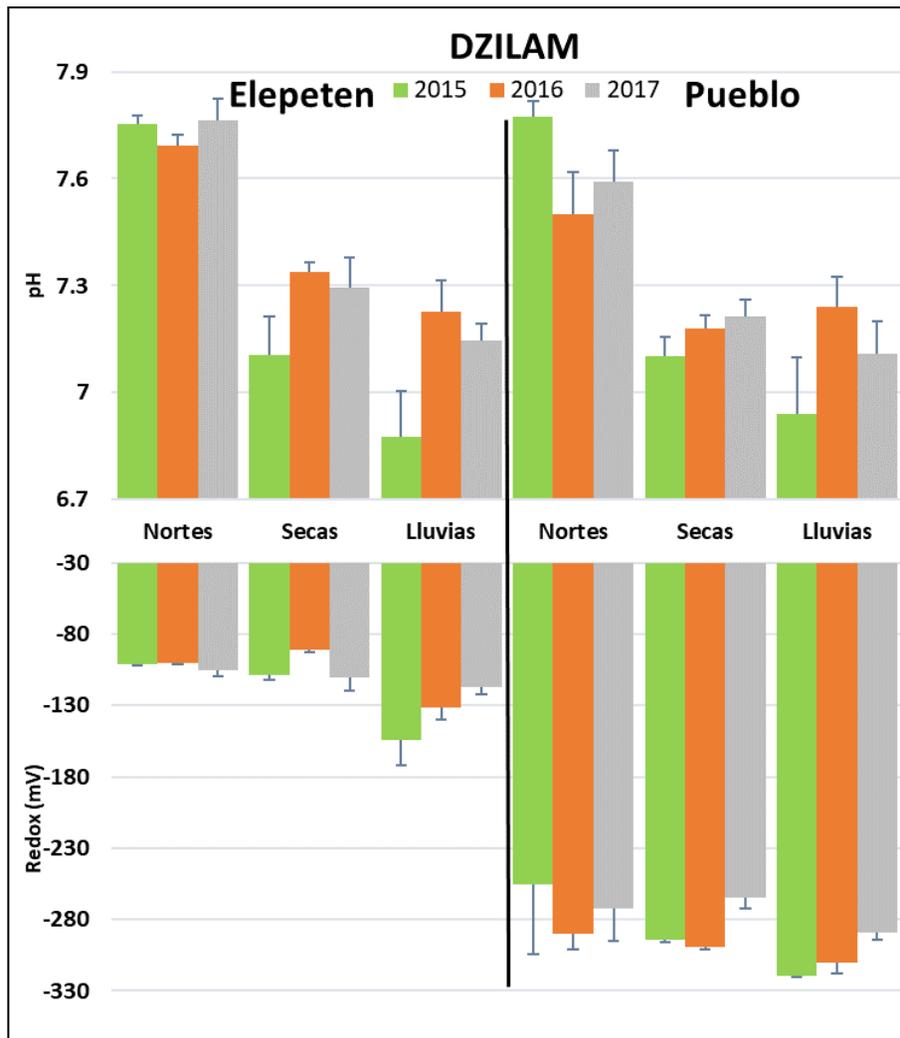


Figura 147. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Dzilam en 2015, 2016 y 2017.

Río Lagartos: De manera general, en esta localidad el pH varía entre 7.0 y 7.6. En 2015, durante la temporada de nortes el sitio El Cuyo presenta valores de pH (7.48) mayores que los de Río Lagartos (7.20), sin embargo, con estos valores ambos presentan condiciones ligeramente ácidas. Por el contrario, en secas y lluvias Río Lagartos tiene valores mayores (7.33 y 7.38, respectivamente) que El Cuyo (7.22 y 7.35). En 2016, el pH más alto registrado corresponde a la temporada de nortes en El Cuyo (7.52), mientras que el más bajo se observó en Río Lagartos en secas (7.29). En 2017, el pH presenta una disminución con respecto a 2016 en todas las temporadas en los dos sitios. El valor más alto de pH este año corresponde a 7.4 en El Cuyo durante la temporada de nortes, y el más bajo (7.0) fue registrado en Río Lagartos en la temporada de lluvias.

Por otro lado, los valores menos reducidos de potencial Redox fueron observados en la época de secas para ambos sitios. En la temporada de nortes, el sitio El Cuyo presenta valores de Redox más reducidos que los de Río Lagartos. En la temporada de secas, El Cuyo presenta valores más negativos con respecto a Río Lagartos. Por el contrario, durante la temporada de lluvias 2015, Río Lagartos tiene valores de potencial Redox más negativos con respecto a los observados en El Cuyo y en otras temporadas. En 2017 el valor más negativo (-167 mV) se identificó en El Cuyo en la temporada de nortes y menos negativo (-127 mV) corresponde a Río Lagartos en secas (Fig. 148).

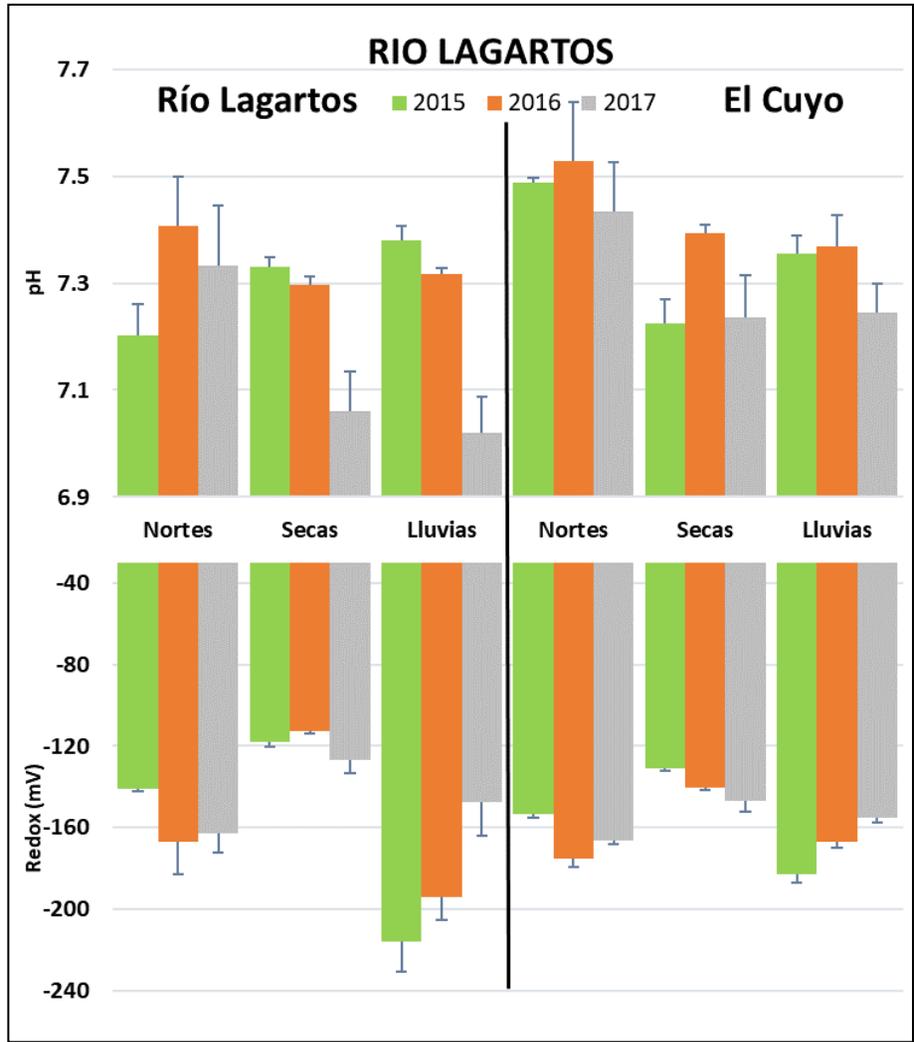


Figura 148. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Río Lagartos en 2015, 2016 y 2017.

Nichupté: En la localidad de Cancún, dentro de los sitios ubicados en el sistema de Nichupté, Polígono 1 y Polígono 9 presentan una disminución de los valores de pH conforme ocurren las temporadas climáticas, sin embargo, se observa que en las temporadas de nortes y secas de 2016 se presentan valores más altos con respecto a las mismas temporadas en 2015. En 2017 el valor más alto de pH (6.81) se registró en Polígono 1 en la temporada de secas. De manera general, los sitios de Nichupté presentan el pH más bajo de todos los sitios caracterizados en la PY, lo cual implica que en esta localidad el agua intersticial presenta características más ácidas.

En cuanto a potencial redox, Polígono 9 presenta condiciones más reducidas que Polígono 1 en las tres temporadas en los tres años dando indicio de que en este

sitio la duración de la inundación o el contenido de materia orgánica en el sedimento son mayores. Se destaca que en la temporada de secas de 2015 Polígono 9 alcanza el valor más reducido de esta localidad (-341.4 mV), mientras que Polígono 1 tiene su valor más negativo en la temporada de nortes de 2017 (-293.7 mV) (Fig. 149).

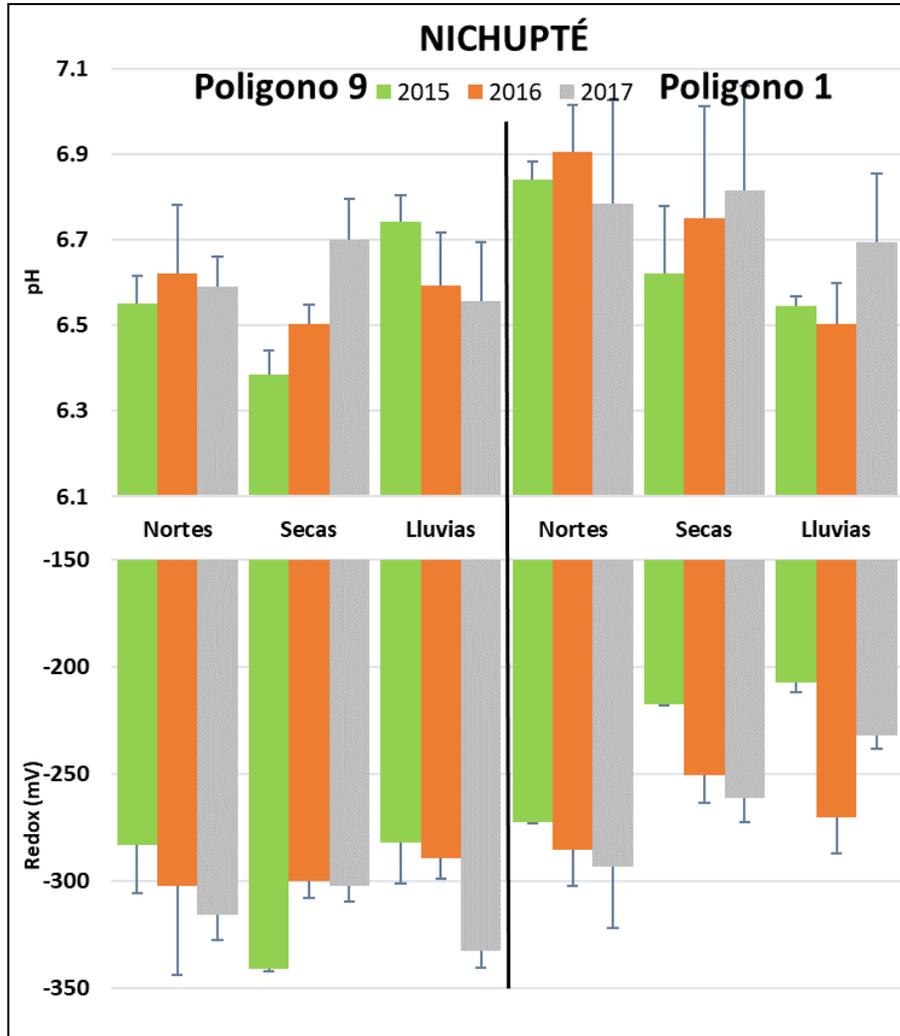


Figura 149. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Nichupté en 2015, 2016 y 2017.

Puerto Morelos: En Puerto Morelos el sitio La Ceiba presenta mayores valores de pH con respecto a El Cid durante las tres temporadas de muestreo en todos los años. En 2015, 2016 y 2017, los valores de pH más altos registrados para esta localidad corresponden a la temporada de nortes en La Ceiba, mientras que el valor más bajo de esta variable (6.42) se registró en El Cid durante la temporada de secas de 2015.

En cuanto a Redox, de manera general el sitio El Cid posee condiciones más reducidas con respecto a La Ceiba en las distintas temporadas en los años de monitoreo. El valor más negativo de potencial Redox (-313 mV) se encontró durante la temporada de secas de 2015 en El Cid mientras que el menos negativo (-94.9 mV) se presentó en la temporada de secas de 2016 en La Ceiba (Fig. 150).

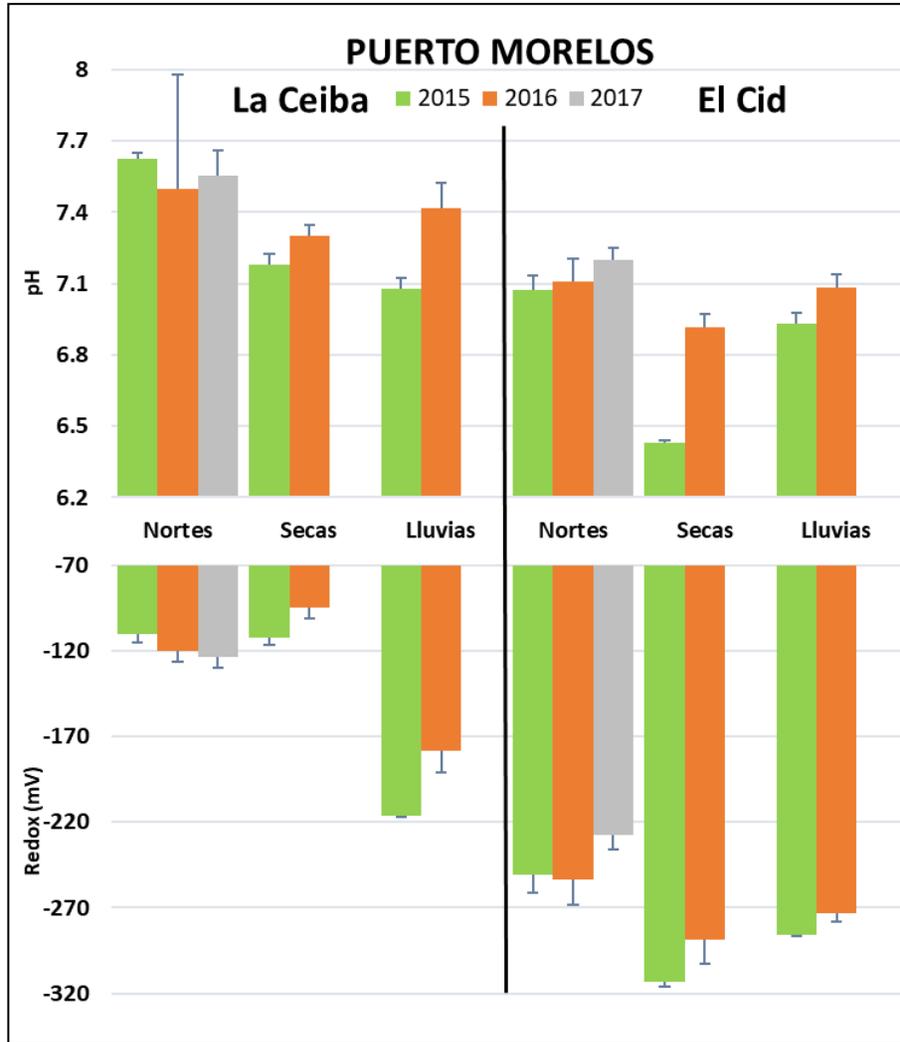


Figura 150. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Puerto Morelos en 2015, 2016 y 2017.

Mahahual: De manera general, los valores más altos de pH fueron registrados en la temporada de secas para todos los sitios, excepto Mahahual 3 que tiene los menores valores de pH en esta localidad. En 2015, los valores más altos de pH (8.26) se

observaron en Mahahual 4 durante la temporada de secas, mientras que el valor mínimo (6.42) se registró también en secas, pero en el sitio Mahahual 3. En 2016, el pH más alto (8.07) se registró en secas en Mahahual 1, mientras que el más bajo (6.6) también en secas en Mahahual 3. En 2017, el valor más alto (7.88) se registró en Mahahual 2 en la temporada de lluvias, y el menor (6.82) en Mahahual 3 en la temporada de secas.

En cuanto al potencial Redox, Mahahual tienen una gran variabilidad entre sitios y entre temporadas. El valor de Redox menos negativo registrado (-173 mV) corresponde a la temporada de secas en Mahahual 3 tanto en 2015 como en 2016, mientras que los valores más negativos (-274.1 mV) se presentan en Mahahual 2 en la temporada de lluvias de 2015 (Fig. 151).

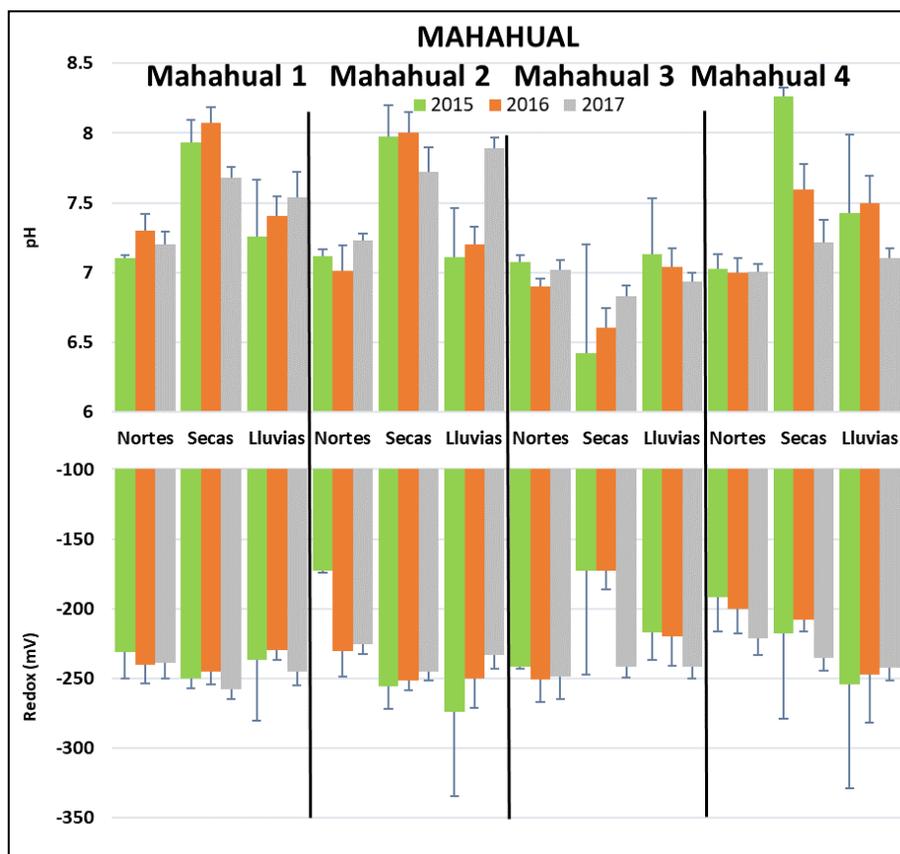


Figura 151. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Mahahual en 2015, 2016 y 2017.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, se observa un ligero incremento de 2015 a 2016 en los valores de pH en las temporadas de nortes, secas y lluvias. En nortes y secas, el sitio Río Hondo presenta suelos ligeramente más ácidos que Tamalcab. Durante la época de lluvias, las condiciones cambian y Tamalcab presenta valores más altos que Río Hondo.

En cuanto a potencial redox, Tamalcab presenta condiciones más reducidas que Río Hondo en las tres temporadas, excepto en nortes de 2017. Sin embargo, los dos sitios tienen condiciones moderadamente reducidas relacionadas con la dinámica hidrológica. Los valores más reducidos se presentan en la temporada de lluvias para ambos sitios. Los valores menos negativos corresponden a la temporada de secas en Río Hondo en los tres años (Fig. 152).

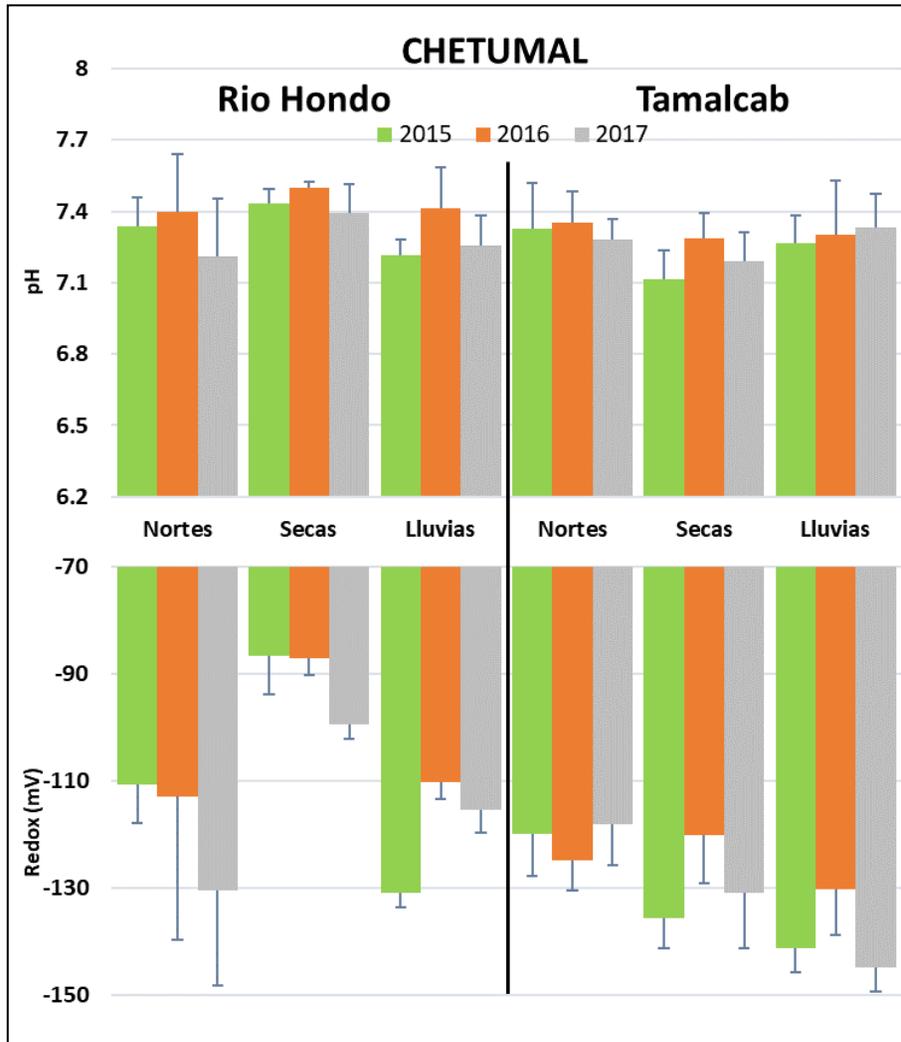


Figura 152. Variación estacional del pH y redox de los sitios de monitoreo del manglar de la localidad de Chetumal en 2015, 2016 y 2017.

4. Hidroperíodo: Nivel, frecuencia y duración de inundación

El hidroperíodo es el resultado de la frecuencia (número de eventos de inundación-desección en un tiempo determinado), nivel (altura de la inundación dentro del sitio) y duración (tiempo en el cual la localidad permanece inundada en cada evento). En este reporte a los sitios donde la inundación es constante y permanece así por uno o varios meses, la frecuencia será designada con el valor de 1 que representa un evento. Los valores negativos representan el nivel de inundación por debajo del suelo y los positivos por arriba del suelo. Esta variable está influenciada por los cambios de nivel del agua por mareas, crecidas de ríos, escorrentía de la región (superficial y subterránea), y la topografía. El hidroperíodo es una variable que tiene influencia en los niveles de Redox, salinidad intersticial, disponibilidad de nutrientes, distribución de las especies, productividad, entre otros.

Celestún - Interna: El sitio de la zona interna presentó variaciones de sequía e inundación a lo largo del periodo de estudio con un mínimo de -0.51 m y máximo de 0.49 m. En enero 2015 es cuando se presentó el agua por debajo del nivel del suelo y donde se obtuvo el valor mínimo, para después presentar un comportamiento de altas y bajas en el nivel del agua. En el primer semestre del año 2017 se presentó un comportamiento de bajos niveles (enero-febrero) para posteriormente incrementarse hacia junio (Fig. 153a). La frecuencia de inundación se aprecia en la figura 153b, observándose que la mayor frecuencia se registró en marzo 2015 (38 eventos), y la menor en enero 2015 con 0 eventos. Con respecto al tiempo de inundación, el mes que permanece el manglar más horas inundado fue julio 2015 con 743 horas (Fig. 153c).

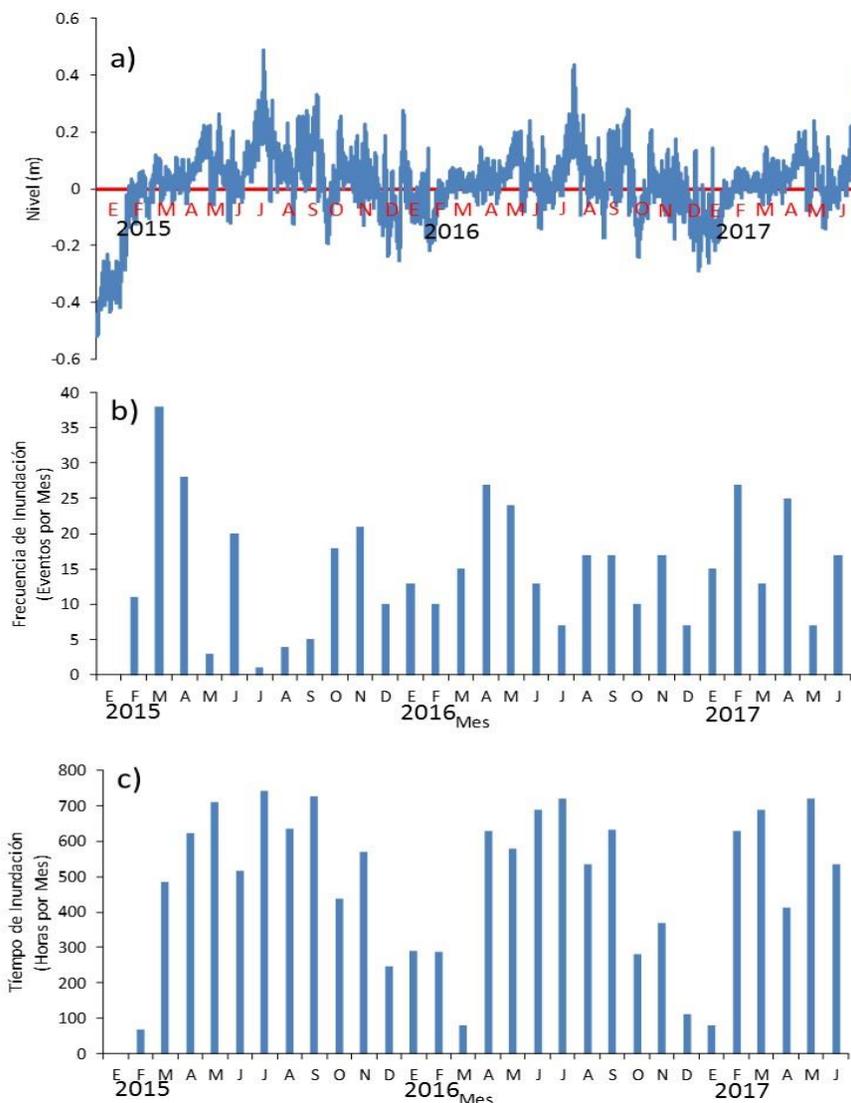


Figura 153. Frecuencia de inundación de Celestún - Interna. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Celestún - Boca: El sitio de la boca presentó periodos de desecación frecuente y constante, (Fig. 154a). El mayor valor de inundación fue de 0.75 m en octubre 2015 y el menor en noviembre 2015 -0.50 m. La frecuencia de inundación registro el mayor número de eventos en agosto 2015 con 43 y el menor en abril 2016 con 2 (Fig. 154b). Respecto al tiempo de inundación, el mayor número de horas que el manglar de este sitio se mantuvo inundado fue en marzo 2016 con 675 h (Fig. 154c).

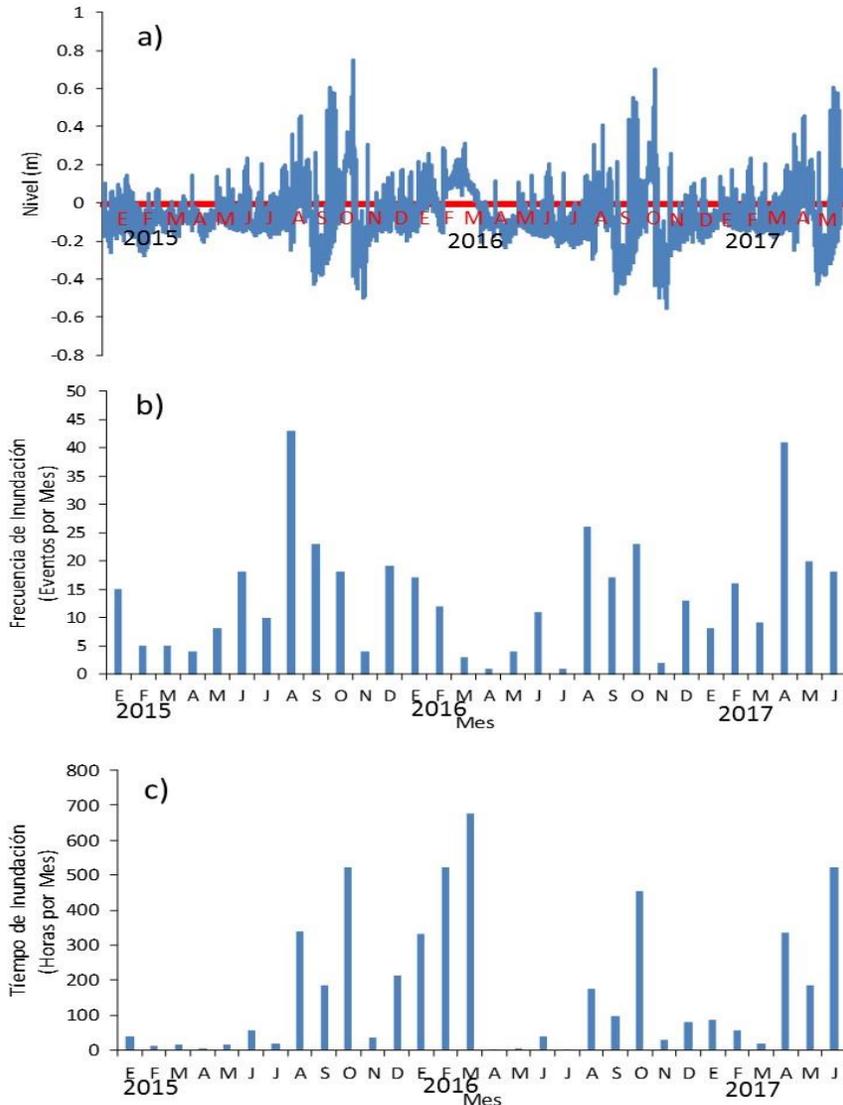


Figura 154. Frecuencia de inundación de Celestún - Boca. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Sisal - Pecis II: Para este sitio el intervalo de inundación fue de -0.13 m en junio 2016 a 0.10 m en enero 2015 (Fig. 155a), presentando periodos de desecación e inundación durante todo el periodo de estudio, y siendo menores hacia finales del año 2016, para volver a incrementarse en el año 2017. Para la frecuencia de inundación el mayor número de eventos se registró en mayo 2016 (39), y el menor en octubre 2016 con 0 (Fig. 155b). En la figura 155c se observa el tiempo de inundación donde el mayor número de horas que permaneció inundado el manglar fue de 699 h (mayo 2015) y el menor en octubre 2016 (0 h).

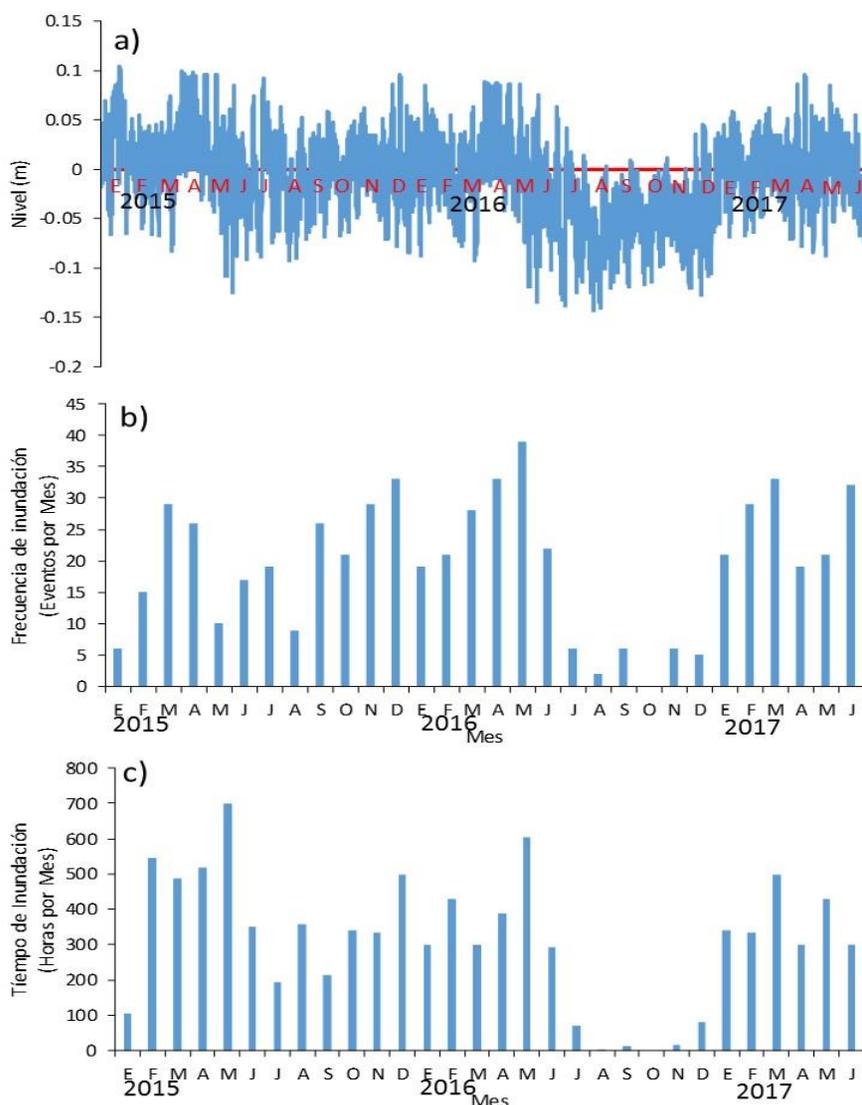


Figura 155. Frecuencia de inundación de Sisal – Pecis II. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. **(b)** Frecuencia de inundación y **(c)** Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Progreso - Contenedores: El intervalo de inundación fue de -0.30 en diciembre 2016 a 0.32 m en el mes de mayo (2015), observándose que el sitio permanece inundado una gran parte del año (Fig. 156a). Para la frecuencia de inundación, en este sitio se encuentran bien representadas las oscilaciones temporales de inundación y desecación, donde el mayor número de eventos se registró en noviembre 2016 (23) (época de nortes) (Fig. 156b). Con relación al tiempo de inundación, los primeros meses del año tienen menos horas de inundación para irse incrementando (Fig. 156c), donde el mes de septiembre (2016), permanece más tiempo inundado el manglar de este sitio (664 hrs).

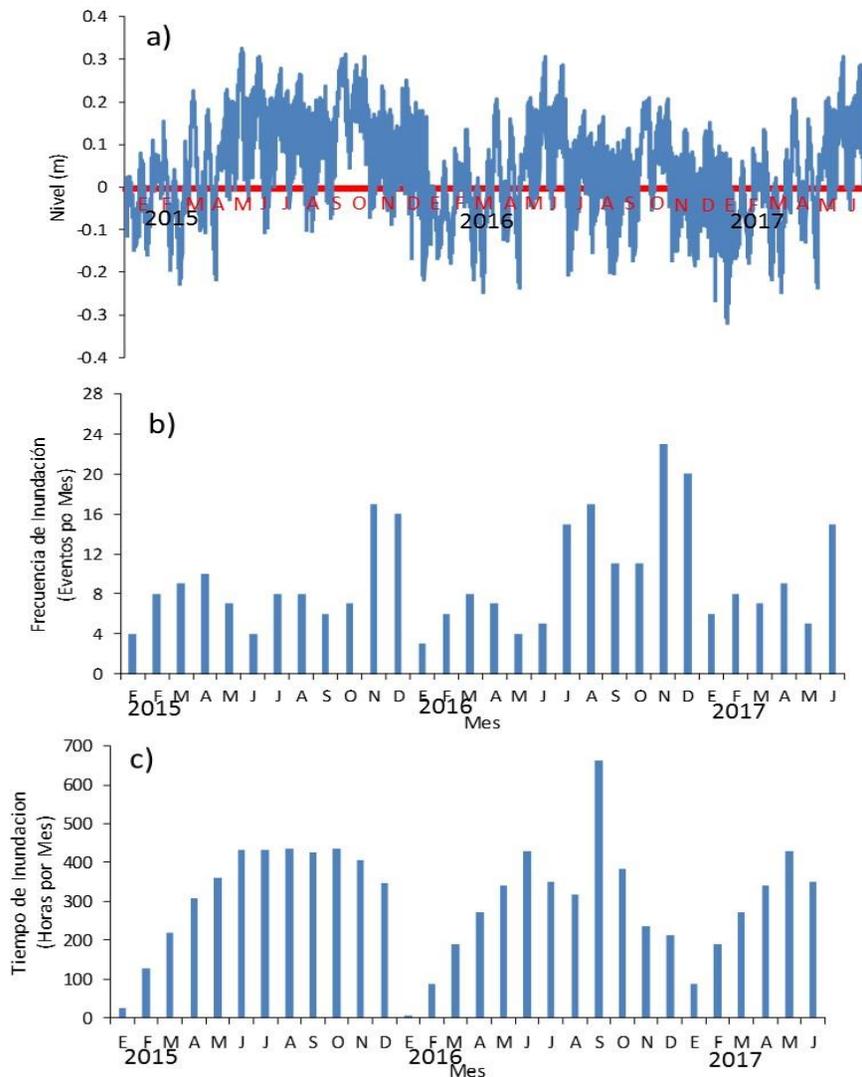


Figura 156. Frecuencia de inundación de Progreso - Contenedores. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. **(b)** Frecuencia de inundación y **(c)** Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Dzilam - Elepetén: El sitio se presenta inundado gran parte del periodo de muestreo, con un nivel máximo de hasta 0.35 m en el mes septiembre (2015), probablemente debido a la combinación de descarga de agua del manantial y las mareas (Fig. 157a). Respecto a la frecuencia de inundación, en la figura 157b se observa que durante todo el año se presentan eventos de inundación-desección, siendo junio (2016) cuando hay mayor número de eventos (23). Para el tiempo de inundación en la figura 157c, se puede observar que en casi todos los meses se presentaron la mayoría de las horas de inundación posibles a excepción de los meses de enero (2015), febrero (2016) y enero (2017).

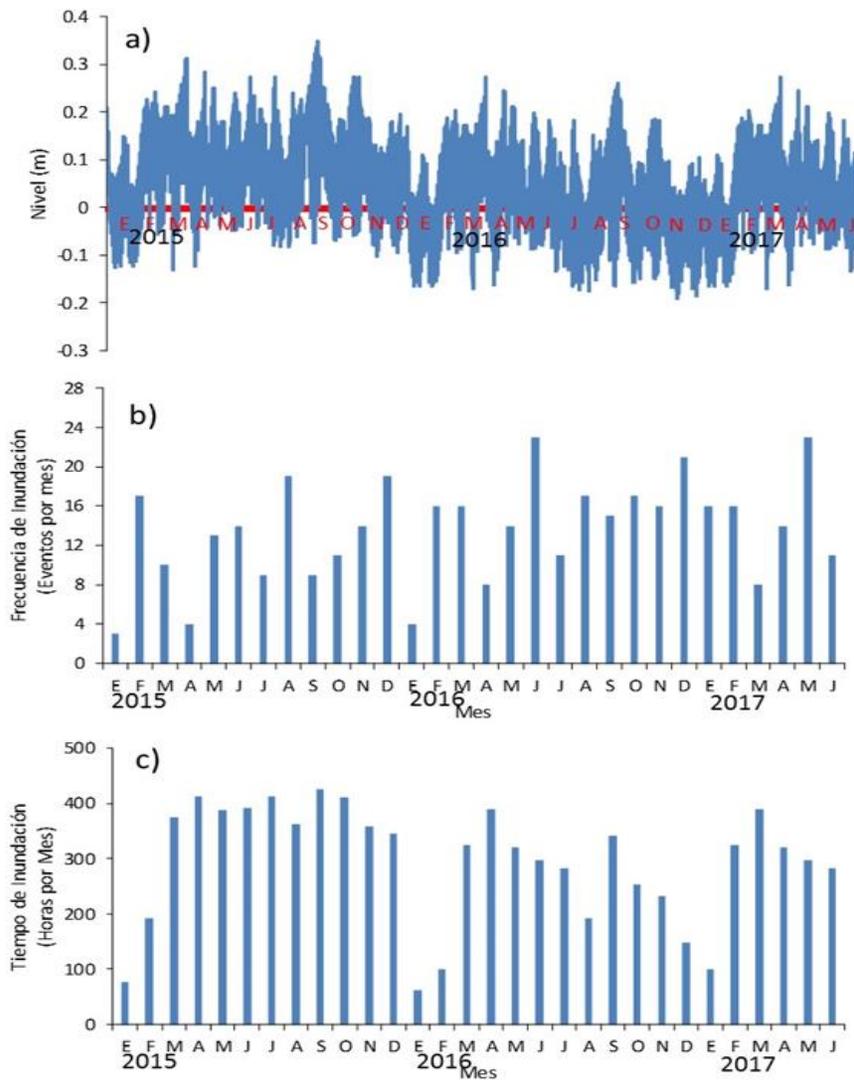


Figura 157. Frecuencia de inundación de Dzilam - Elepetén. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Río Lagartos - Río Lagartos: El sitio registro constantes periodos de desecación-inundación durante todo el año, en un intervalo de -0.12 m a 0.10 m, relacionándose principalmente con la influencia de marea del sitio (Fig. 158c). La frecuencia de inundación en este sitio presento en febrero (2015) la menor frecuencia (12) y la mayor en enero (2015) con 29 eventos (Fig. 158b). Con respecto al tiempo de inundación el sitio sigue un comportamiento similar a la frecuencia, debido a los constantes eventos de inundación, solo en mayo (2016) se presentaron menos horas de inundación (121 h) (Fig. 158c).

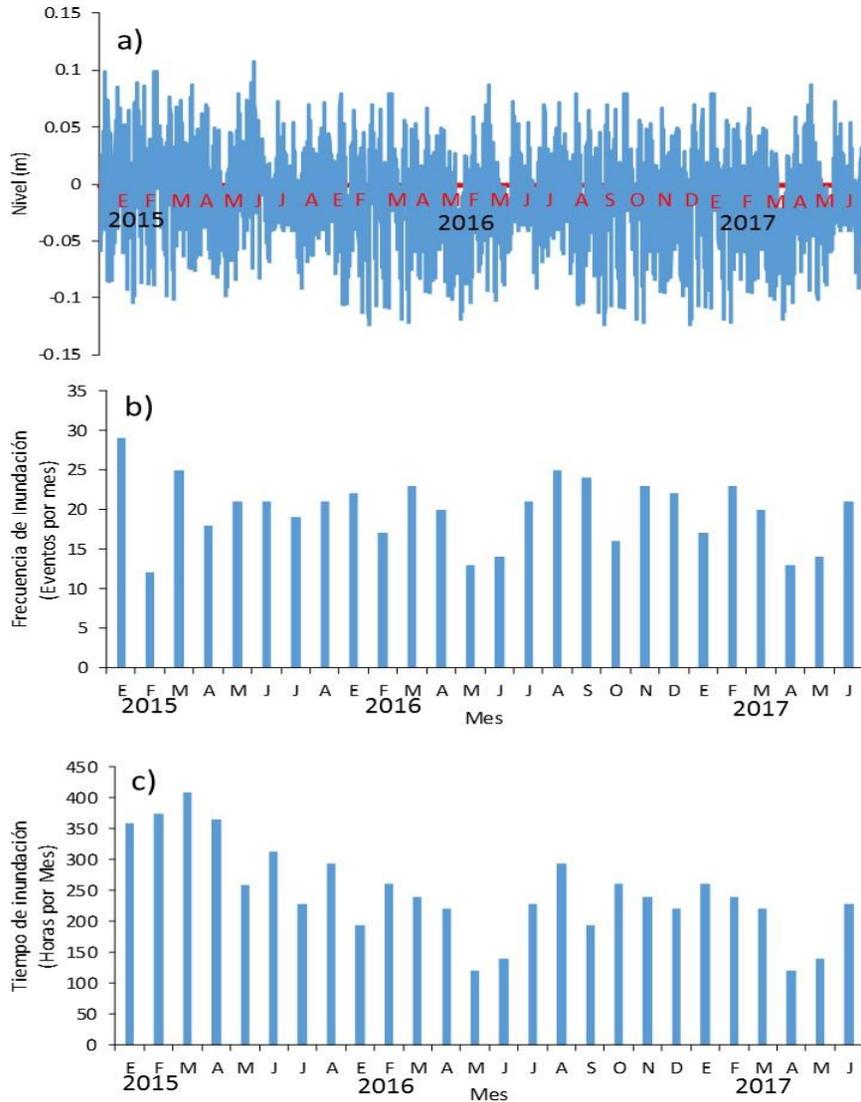


Figura 158. Frecuencia de inundación de Río Lagartos – Río Lagartos. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Nichupté - Polígono 9: Este sitio permaneció la mayor parte del tiempo inundado con niveles entre -0.046 m en el mes de febrero (2016) a 0.44 m en junio (2015), con variaciones en la frecuencia de inundación que podrían estar asociadas a las mareas durante la mayor parte del periodo de estudio (Fig. 159a). La frecuencia de inundación presentó valor de 1 en todo 2015 y la mayor frecuencia se registró en mayo (2017 con 13 eventos) (Fig. 159b). Respecto al tiempo de inundación se puede apreciar en la figura 159c, que los meses de enero de los tres años es cuando se presentan las menores horas de inundación.

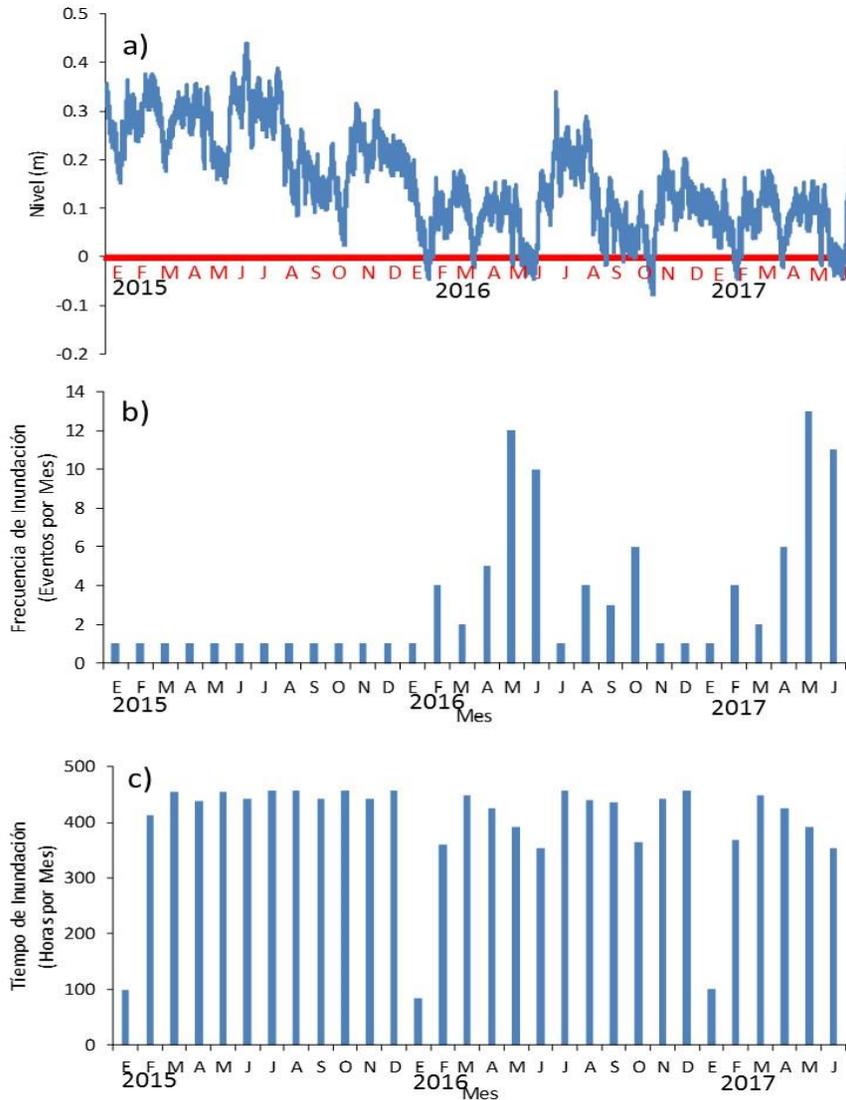


Figura 159. Frecuencia de inundación de Nichupté – Polígono 9. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Puerto Morelos - Ceiba: La localidad de Puerto Morelos presentó inundación durante casi todo el periodo de estudio, variando entre -0.24 m (mayo 2016) y 0.41m (junio 2015). La inundación se debe al incremento del nivel del acuífero, siendo probablemente la razón de que los niveles de agua en esta localidad sean relativamente constantes, ya que no hay aportes aparentes vía marina y la marea no tendría mayor influencia por su ubicación (Fig. 160a). Este sitio presentó frecuencia de inundación de 1 en la mayoría de los meses a excepción de abril donde 14 eventos se registraron, así como un periodo de desecación en el año 2016 en los meses que van de marzo a finales de mayo (Fig. 160b). Con respecto al tiempo de inundación los meses de abril, marzo y mayo (2016 y 2017) presentaron cero horas de inundación, cabe señalar que durante el año 2016 es el que menor tiempo de inundación presenta, para que se vuelva a inundar el manglar con oscilaciones en los últimos meses del año (Fig. 160c).

Mahahual - Mahahual 2: La localidad de Mahahual presento inundación durante casi todo 2015, desde octubre 2015 y hasta abril de 2016 se registraron periodos de desecación, para volver a inundarse a mediados de 2016 para desecarse al final del año y volverse a inundar a principios de 2017. El intervalo de inundación vario de -0.16 m a 0.46 m (Fig. 161a). Para la frecuencia de inundación presento valor de 1 durante la mayor parte de 2015 por estar inundado y a partir de octubre se registraron variaciones en esta característica teniendo la mayor frecuencia en mayo (2016 y 2017) con 20 eventos (Fig. 161b). Con respecto al tiempo de inundación el mes que menor número de horas inundadas fue enero, noviembre y diciembre (2016) con 0 h (Fig. 161c).

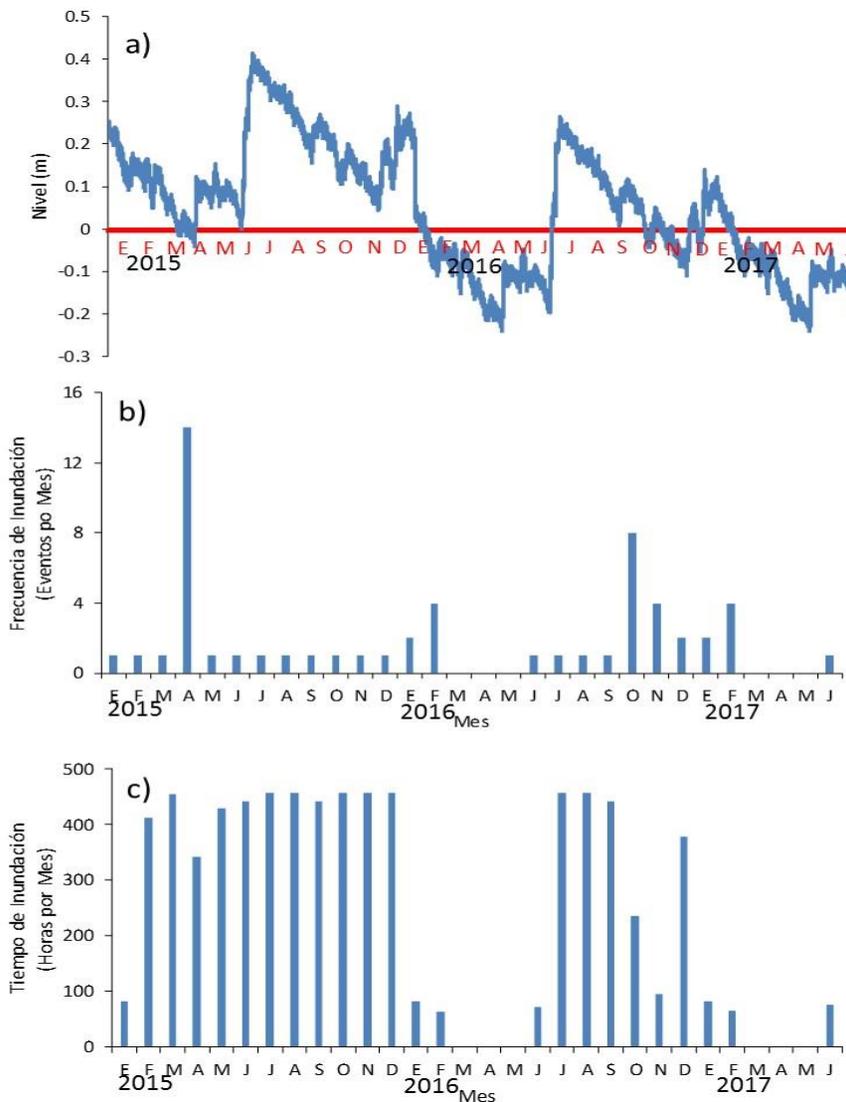


Figura 160. Frecuencia de inundación de Puerto Morelos - Ceiba. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

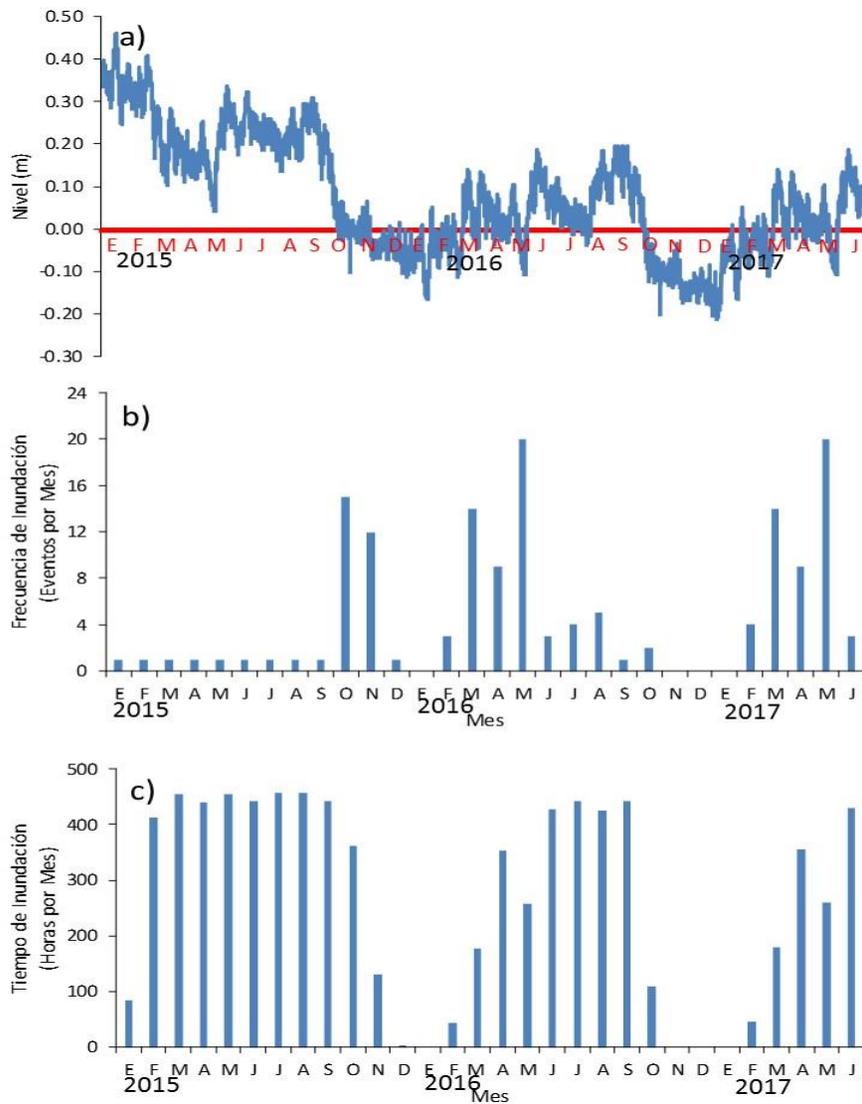


Figura 161. Frecuencia de inundación de Mahahual – Mahahual 2. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (–) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Chetumal - Río Hondo: Esta localidad presento un patrón variable en cuanto a la inundación-desección durante el periodo de estudio. El intervalo de inundación vario de -0.29 m a 0.34 m, mostrando las mayores inundaciones en junio de 2015 y 2016 y presentar un periodo de desección en el primer semestre de 2017 (Fig. 162a). Para la frecuencia de inundación se observaron las mayores frecuencias en abril 2016 (18), junio, julio (2015) y mayo, junio (2016) fueron los meses de menor número de eventos (1) (Fig. 162b). Con respecto al tiempo de inundación el mes que menos horas inundadas tuvo fue septiembre 2015 (100 h) y el mayor junio 2016 (744 h) (Fig. 162c).

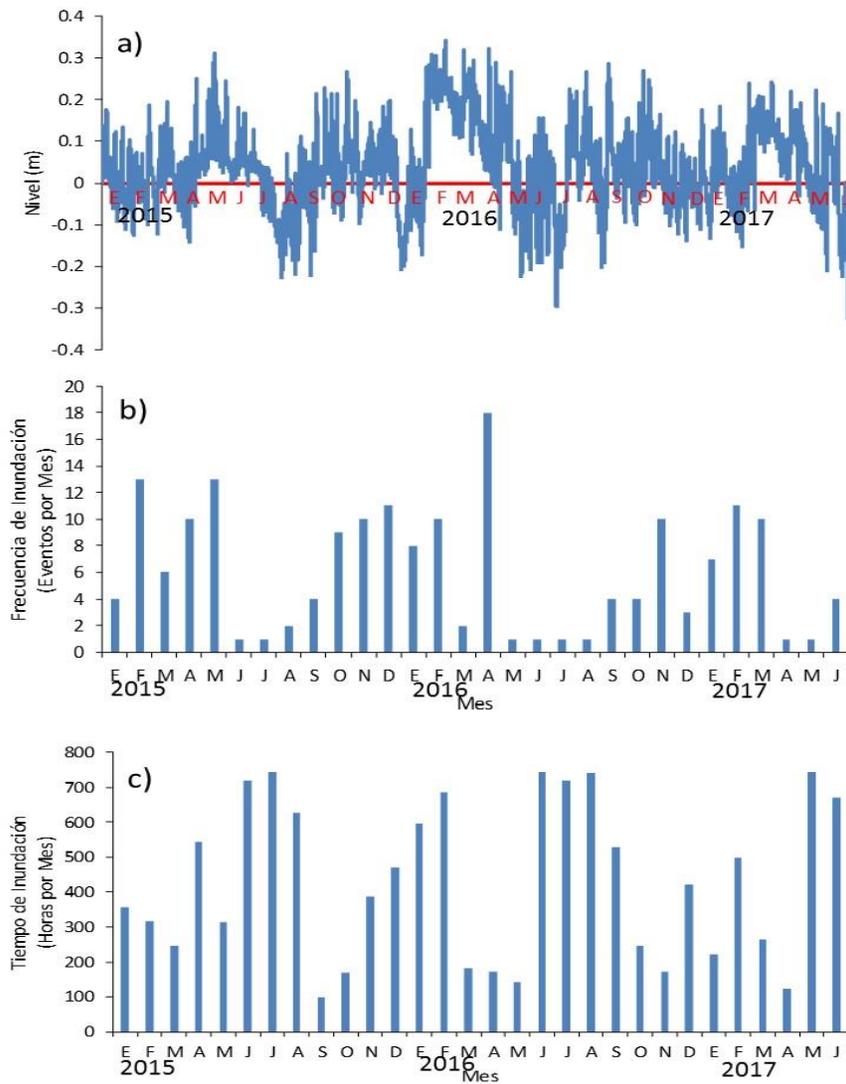


Figura 1621. Frecuencia de inundación de Chetumal - Río Hondo. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. **(b)** Frecuencia de inundación y **(c)** Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Chetumal - Tamalcab: La localidad de Tamalcab se mantuvo por debajo del nivel del suelo durante la mayor parte del año, el intervalo de inundación vario de -0.61 m a 0.19 m, mostrando las mayores inundaciones en julio 2015 y principios de 2017, el nivel más bajo en octubre-noviembre (2015) (Fig. 163a). Para la frecuencia de inundación se registró el mayor número de eventos en mayo 2017 (22) (Fig. 163b). Con respecto al tiempo de inundación julio 2015 presento el mayor número de horas de inundación (211 h) (Fig. 163c).

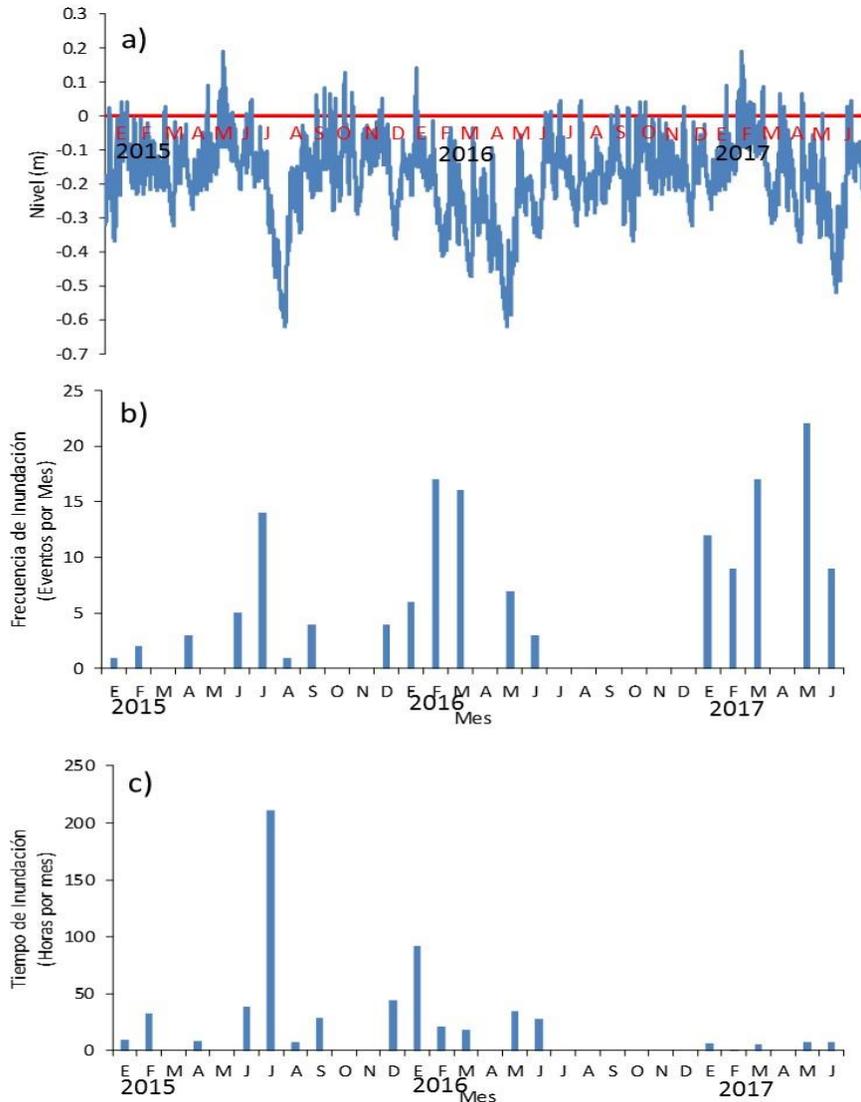


Figura 163. Frecuencia de inundación de Chetumal - Tamalcab. (a) La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. (b) Frecuencia de inundación y (c) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

5. Ecología: Productividad de hojarasca, raíces finas y troncos.

La productividad primaria hace referencia a la cantidad de carbono que se fija por fotosíntesis, en este caso la cantidad de hojas, raíces y troncos que se forman en determinado tiempo. Parte de esta productividad es transferida al suelo a través de la caída de hojarasca o la descomposición de raíces.

Productividad de hojarasca

La productividad de hojarasca en los ecosistemas de manglar es una medida funcional de la salud de estos ecosistemas al estar relacionados con la estructura de la vegetación y con las características de variables ambientales que la pueden afectar.

Celestún: De manera general en los tres sitios se observa un patrón temporal en la producción de hojarasca presentándose la más alta durante la temporada de lluvias (de mayo a octubre) y las más bajas durante la temporada de nortes (de noviembre a febrero). Para el año 2017, el sitio de la zona Interna presenta la más alta productividad (78.02 g.p.s. m² mes⁻¹) en mayo (secas) seguido por el mes de abril con 77.69 g.p.s. m² mes⁻¹ (secas), y la más baja lo sigue presentando el mes de febrero (7.67 g.p.s. m² mes⁻¹). En la zona del Puente la productividad más alta fue en junio con 129.76 g.p.s. m² mes⁻¹ mientras que la menor fue de 69.63 g.p.s m² mes⁻¹ en abril. En la zona de la Boca la mayor productividad fue de 95.49 g.p.s m² mes⁻¹ en el mes de julio donde el componente de hojas aportó 47.22 g.p.s m² mes⁻¹ y estructuras reproductivas 33.54 g.p.s m² mes⁻¹. En cuanto a la productividad de cada uno de los componentes, en la zona Interna la producción más alta de hojas se presentó al inicio de la temporada de lluvias (mayo con 123.28 g.p.s m² mes⁻¹) y el mayor aporte de estructuras reproductivas fue en septiembre con 103.45 g.p.s m² mes⁻¹ en el año 2015. En la zona de la Boca las productividades más altas para los tres años hojas con 102.47 g.p.s m² mes⁻¹ lo presentó el 2016 en el mes de junio y de estructuras reproductivas el año 2015 (50.50 g.p.s m² mes⁻¹) en abril. En general se observa una

mayor productividad de estructuras reproductivas (flores y frutos) en los meses con precipitación más alta (Fig. 164).

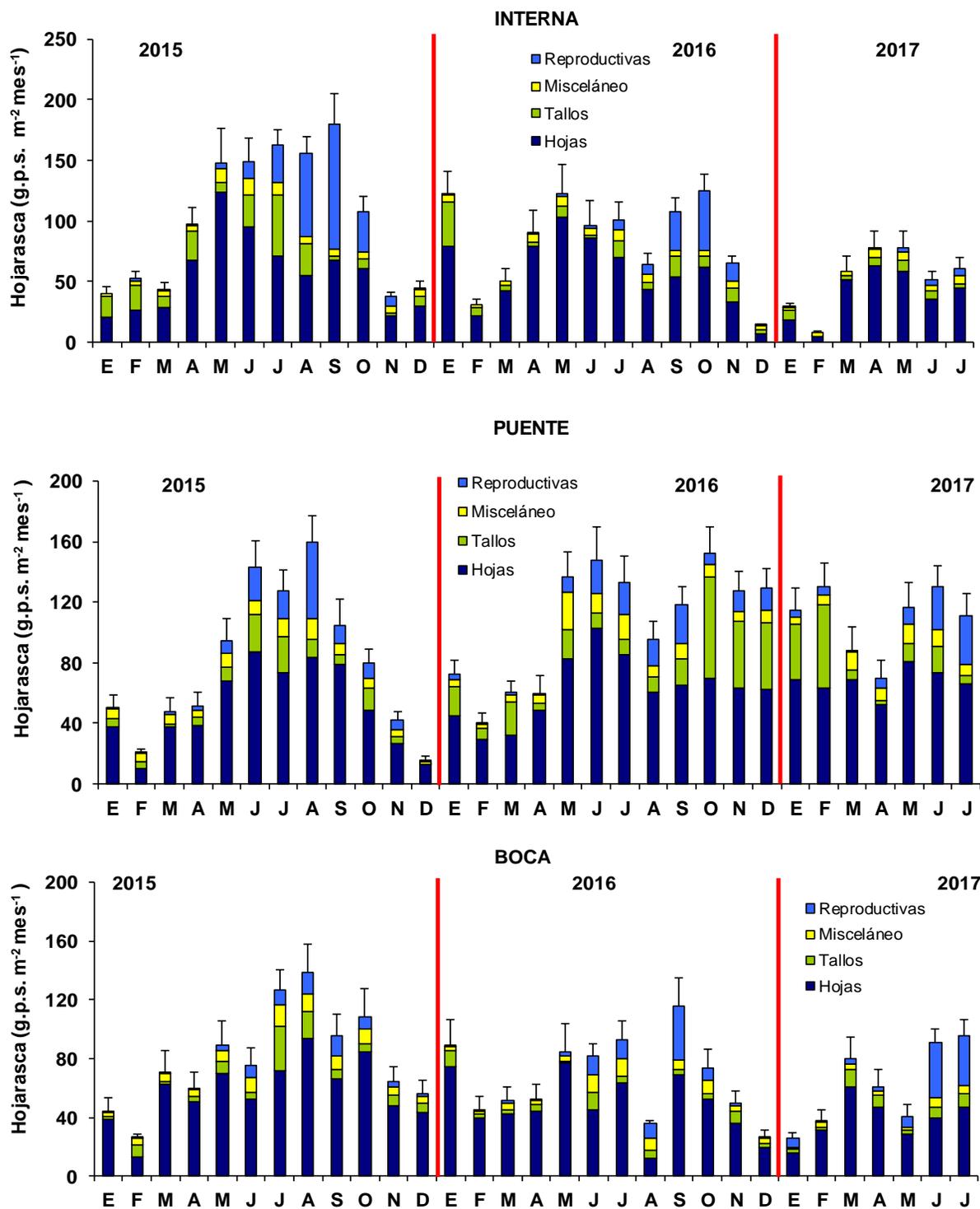


Figura 164. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Celestún.

Sisal: El sitio Pecis I la más alta productividad para el año 2017 la presento el mes de julio (151.9 g.p.s m² mes⁻¹) mientras que la menor productividad (27.70 g.p.s m² mes⁻¹) el mes de abril. En el sitio Pecis II su productividad mínima se registró en los meses de junio y mayo (24.80 y 25.63 g.p.s m² mes⁻¹) y máxima de 80.06 g.p.s m² mes⁻¹ en el mes de julio para el año 2017. Los cuatro componentes de la hojarasca (hojas, tallos, misceláneo y estructuras reproductivas) varían de acuerdo con la época climática en los dos sitios. De manera general las estructuras reproductivas se presentan en Pecis I de abril a diciembre y en Pecis II de mayo a diciembre. De igual manera la producción de hojas se incrementa en estos meses (Fig. 165).

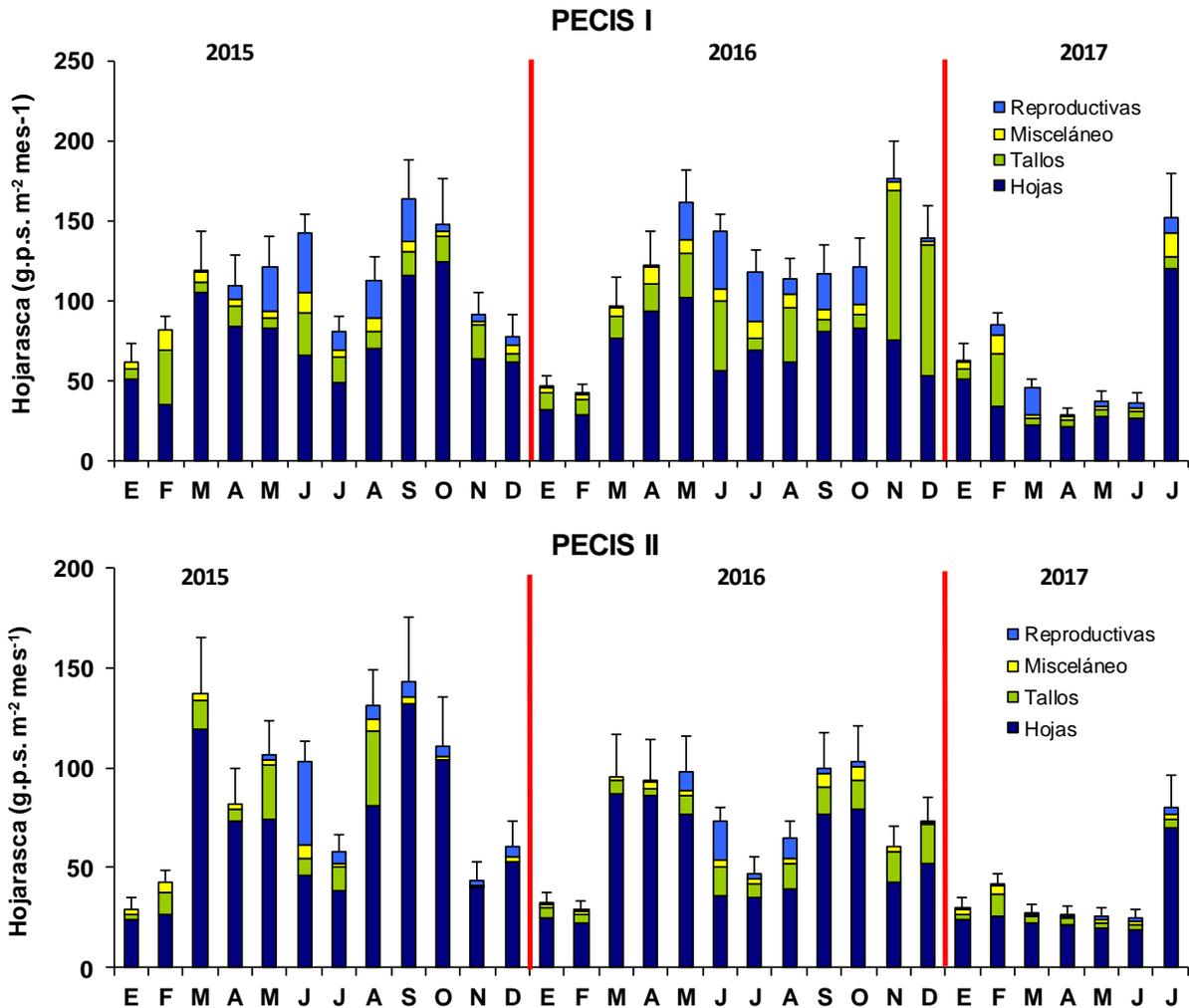


Figura 165. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Sisal.

Progreso: En Contenedores la mayor productividad la presento el mismo mes que el con $112.76 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ durante junio, mes que corresponde también con la máxima productividad de hojas ($64.0 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) y estructuras reproductivas $32.63 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ de ese mismo mes para el año 2017. La menor productividad para el mismo año fue en el mes de marzo con $31.41 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$. Es importante destacar que la producción de estructuras reproductivas en el sitio Contenedores se presenta durante todo el año. En Chelem I, los máximos valores en la productividad se presenta en los meses de junio-enero (48.36 y $43.20 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$), mientras que el valor mínimo se registró en abril con $30.50 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$. En el mes de febrero se observaron los valores mínimos en producción de estructuras reproductivas y hojas ($0.03 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ y $19.59 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$). En Chelem II la productividad más alta sigue presentando en el mes de junio ($173.16 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) seguido del mes de mayo con $139.21 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$, mientras que la menor para el año 2017 se registró en febrero ($48.82 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) (Fig. 166).

Dzilam: En la localidad de Dzilam, el sitio Elepeten presenta una productividad máxima de $172.51 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ en el mes de julio. Los valores mínimos se registraron en los meses de febrero y enero respectivamente (19.36 y $21.43 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) se presenta en el mes de julio 2017 hasta el final del periodo del monitoreo. La productividad de hojas máxima se presenta en julio ($112.26 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) y la mínima ($16.08 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) en febrero. La mínima productividad de estructuras reproductivas ($0.32 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) para el año 2017 corresponde al mismo mes (febrero). En el sitio conocido como Pueblo la productividad mínima corresponde al mes de julio ($22.64 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) y los máximos valores se presentaron en los meses junio y abril (91.8 y $81.18 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$). En el año 2017 la producción de flores y frutos mínima se registró en marzo ($0.04 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) y la máxima en junio ($16.84 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$). Por su parte, la producción de hojas máxima se presentó en abril ($64.65 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) y la mínima en julio ($13.07 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$). Es importante destacar la gran diferencia que existe entre las productividades máximas de cada sitio: en Elepeten es más alta probablemente por no recibir impactos de actividades humanas, o porque mientras en el Elepeten la hidrología favorece la acumulación de

materia orgánica y reciclamiento de esta, en el Pueblo la hidrología favorece más la exportación de materia vegetal. Esto se podría determinar a través de las relaciones de la productividad con el contenido de nutrientes en los sedimentos, análisis que no forma parte de los compromisos de este proyecto (Fig. 167).

Río Lagartos: En la localidad de Río Lagartos, el sitio denominado con el mismo nombre presenta los valores máximos para el año 2017 los meses marzo y mayo ($27.76 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) mismo para ambos meses, mientras que la menor productividad observada al final del periodo de monitoreo 2017 fue en junio con $10.85 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$. La mayor producción de estructuras reproductivas ($15.5 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) se presentó en los mismos meses (marzo y mayo) y la menor ($5.15 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) fue en junio. Por su parte, en El Cuyo la productividad más alta para ese año corresponde a $114.92 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ en el mes de mayo y la más baja es de $4.74 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ en febrero seguido de marzo y abril (5.28 y $5.08 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) respectivamente. La producción máxima de hojas se registró en mayo $90.96 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$ y la mínima febrero ($2.17 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$). La mayor producción de estructuras reproductivas ($17.20 \text{ g.p.s m}^2 \text{ mes}^{-1}$) se presentó en junio, en la temporada de lluvias. De manera general, El Cuyo tiene mayor productividad que Río Lagartos lo que pudiera estar asociado al desarrollo estructural de la vegetación en cada sitio (Fig. 168).

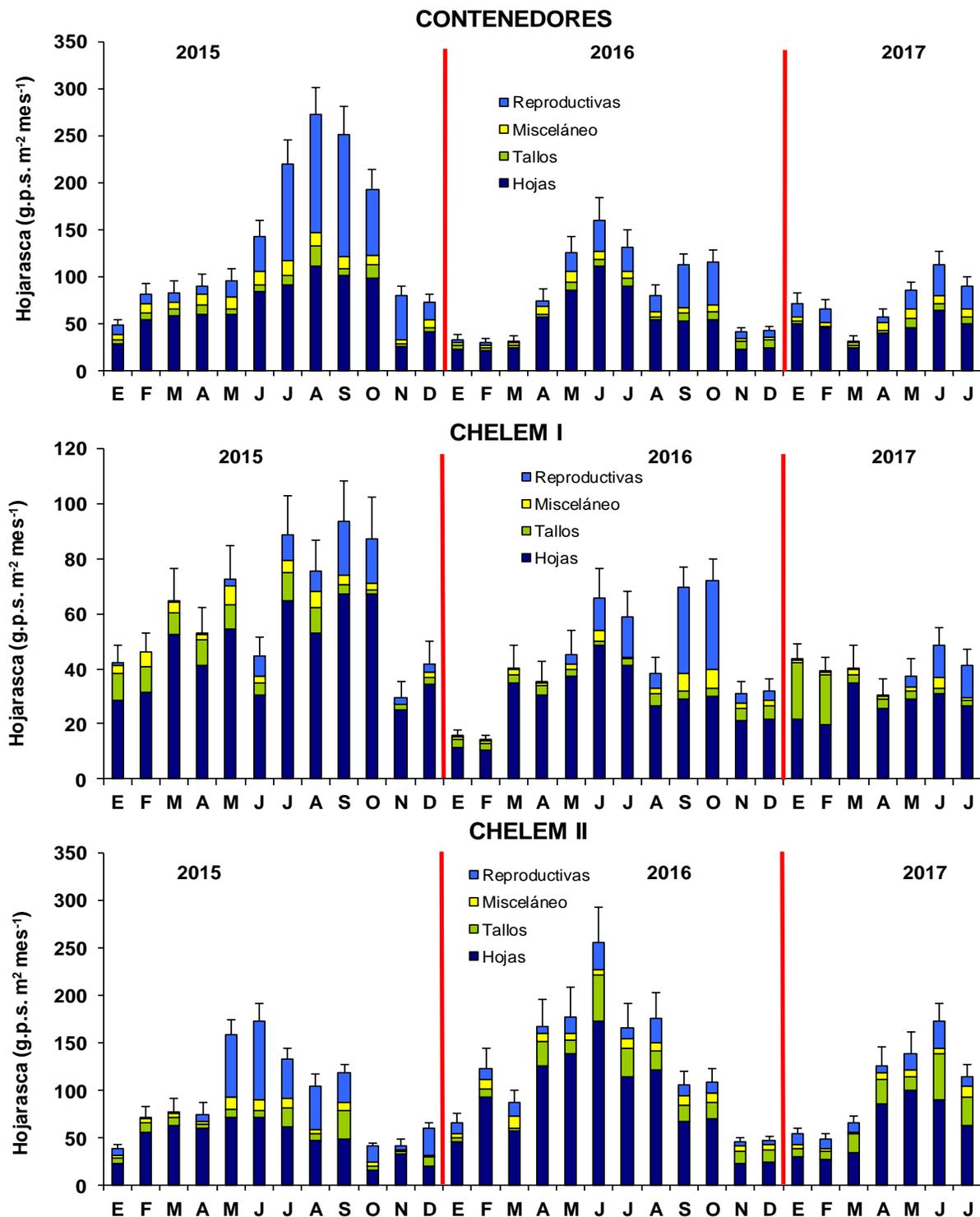


Figura 166. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Progreso.

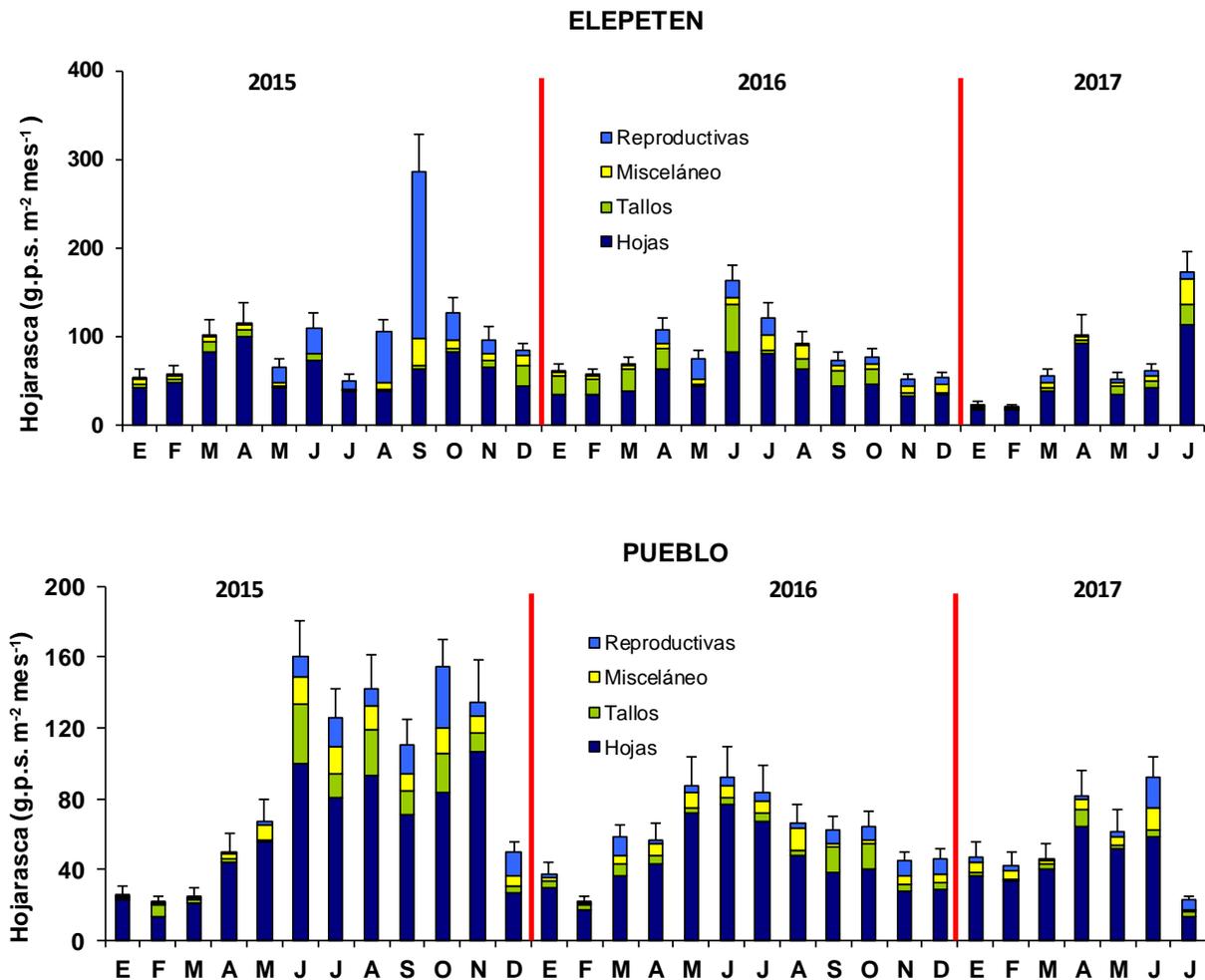


Figura 167. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Dzilam.

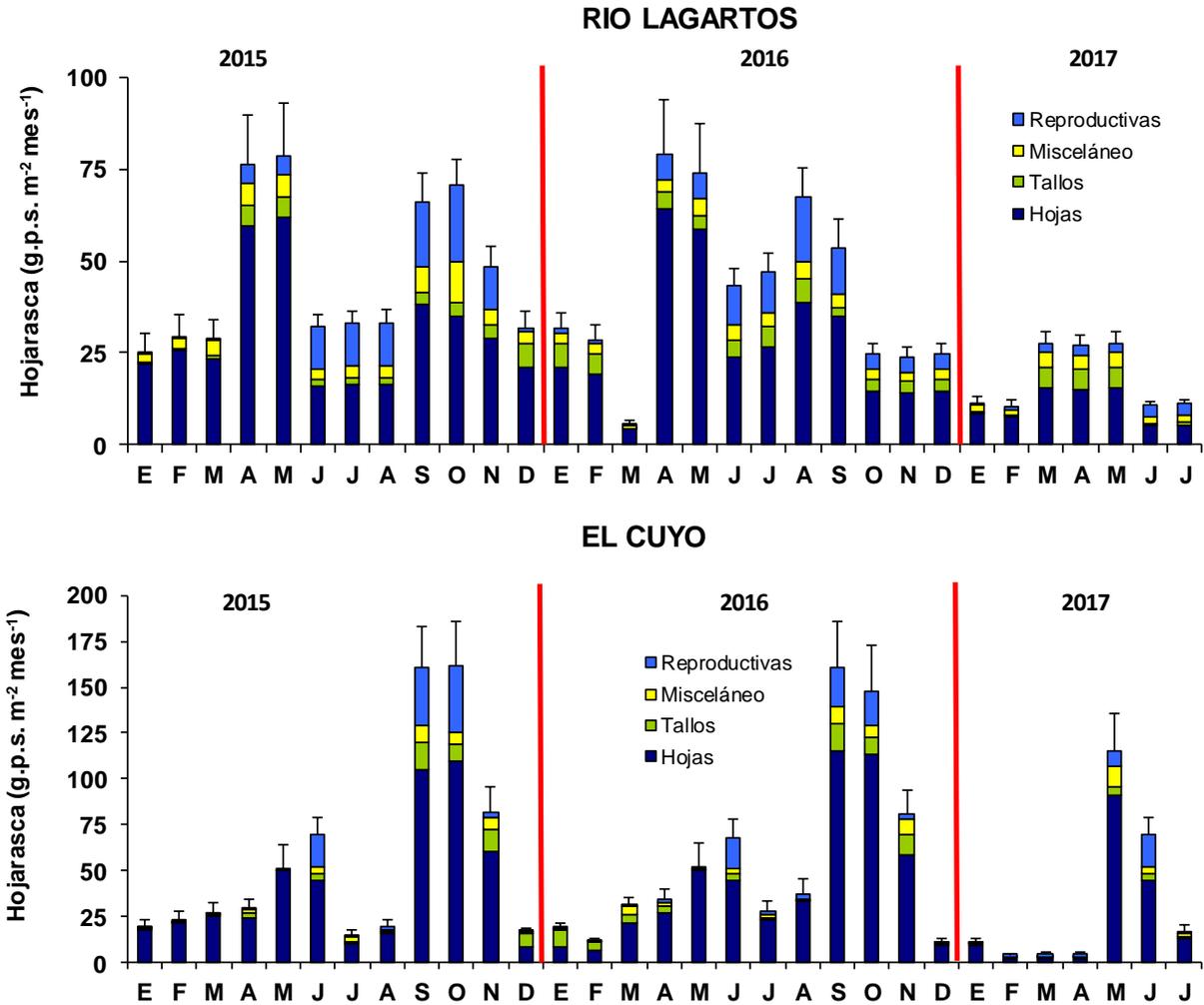


Figura 168. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En general, Polígono 1 presenta mayor productividad que Polígono 9. En Polígono 1 las más altas productividades se presentan de septiembre a diciembre, ocurriendo la máxima (263.31 g.p.s m² mes⁻¹) en octubre de 2015 y la mínima en junio de 2016 (20.7 g.p.s m² mes⁻¹). La producción de estructuras reproductivas y de hojas responde al mismo patrón. Por su parte, Polígono 9 presenta sus máximas productividades de julio a octubre. La máxima productividad de 70.45 g.p.s m² mes⁻¹ se observó en el mes de agosto de 2015 y la mínima de 9.1 g.p.s m² mes⁻¹ en junio de 2016. En cuanto a los componentes, la producción de flores y frutos mínima se presenta en el mes de junio de 2016 con 1.95 g.p.s m² mes⁻¹ pero los meses de enero y febrero presentaron un aumento (16.10 g.p.s m² mes⁻¹ y 14.54 g.p.s m² mes⁻¹) para

el año 2017. La producción de hojas mínima se presenta en abril de 2016 (4.8 g.p.s m² mes⁻¹). En el año 2017, En Polígono 1 presenta las más altas productividades en mayo (93.5 g.p.s m² mes⁻¹) y junio (92.3 g.p.s m² mes⁻¹) y la mínima en el mes de abril (21.5 g.p.s m² mes⁻¹). La producción de estructuras reproductivas y de hojas responde al mismo patrón. Por su parte, Polígono 9 presenta su máxima productividad el mes de julio (4.74 g.p.s m² mes⁻¹) y la mínima de 19.1 g.p.s m² mes⁻¹ en abril (Fig. 169).

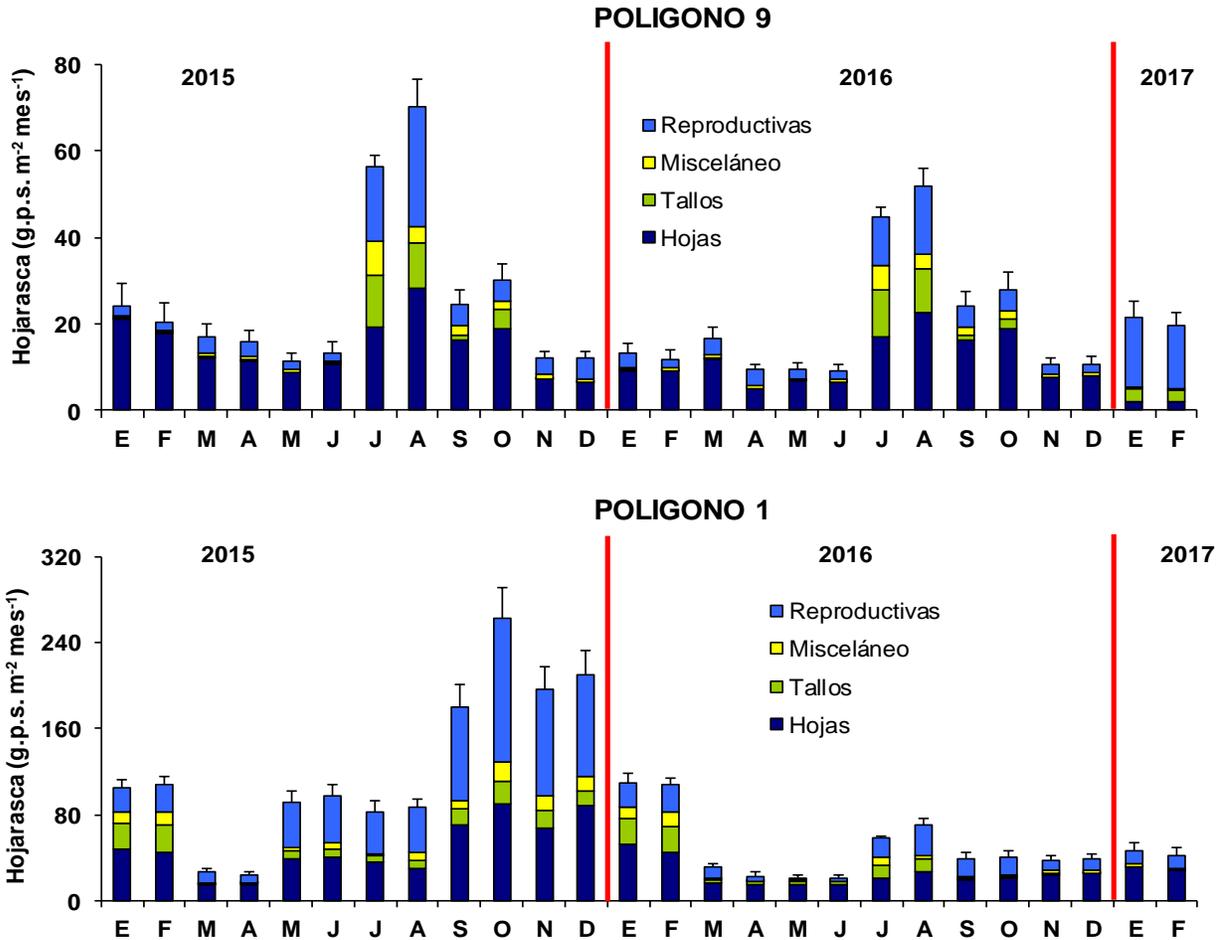


Figura 169. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: En Puerto Morelos, el sitio La Ceiba presenta una productividad máxima de 88.57 g.p.s m⁻² mes⁻¹ en el mes de abril de 2015 mientras que la productividad más baja se registró en marzo de 2016 (21.66 g.p.s m⁻² mes⁻¹). En cuanto a componentes, el máximo aporte de flores y frutos (47.09 g.p.s m⁻² mes⁻¹) fue en febrero de 2016, mes que corresponde también a la mínima producción de hojas

(13.93 g.p.s m⁻² mes⁻¹) en este sitio. Por otra parte, El CID tiene una productividad máxima de 48.69 g.p.s m⁻² mes⁻¹ en mayo de 2016 y una mínima de 7.64 g.p.s m⁻² mes⁻¹ en febrero de 2015. La máxima producción de flores y frutos es en enero de 2015 (10.58 g.p.s m⁻² mes⁻¹) y la mínima en marzo de 2016 (0.13 g.p.s m⁻² mes⁻¹). El mayor aporte del componente de hojas se presentó en mayo de 2016 (43.7 g.p.s m⁻² mes⁻¹) (Fig. 170).

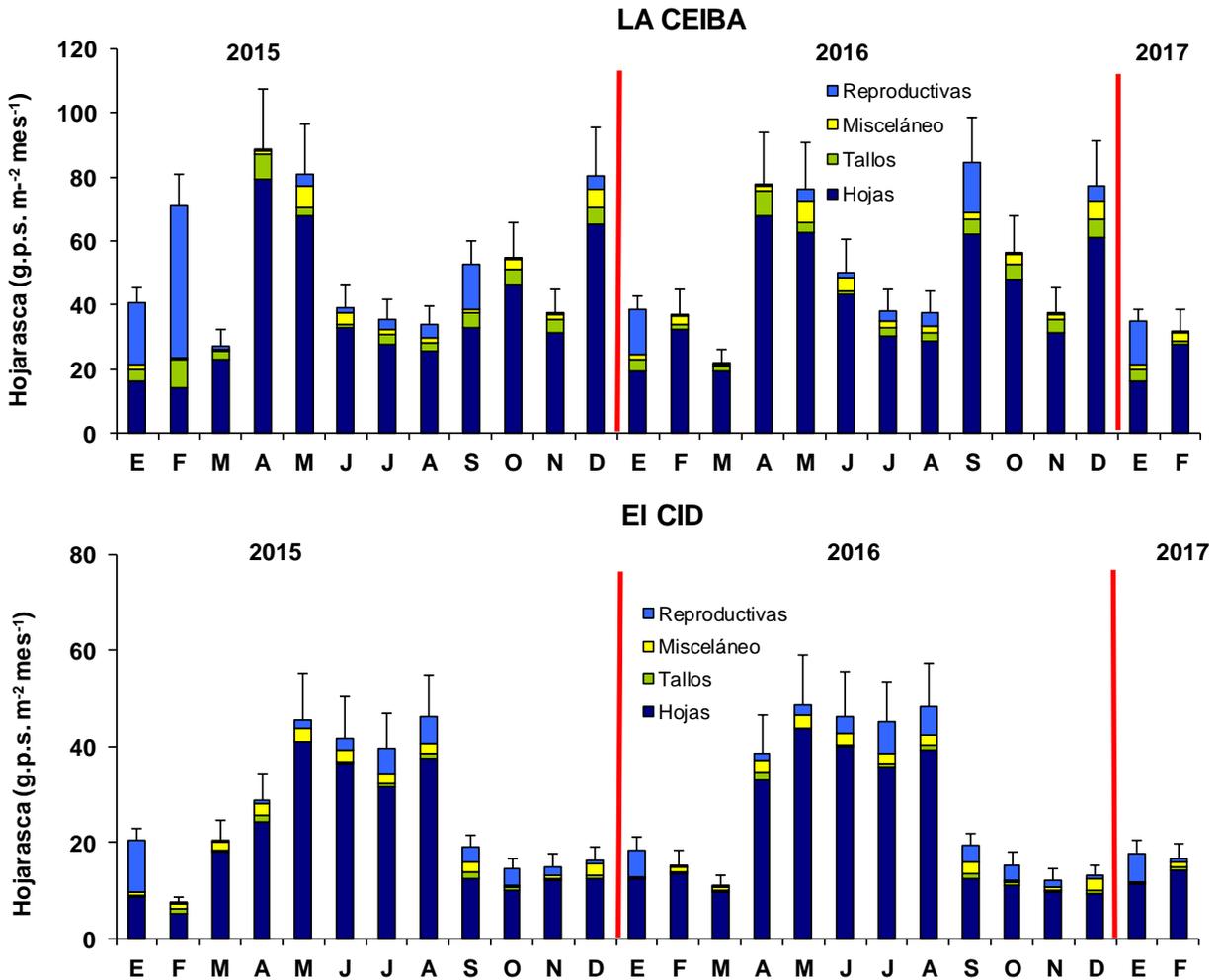


Figura 170. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Puerto Morelos.

Mahahual: Mahahual 1 presenta la mayor productividad con respecto a los otros sitios y se da en el mes de mayo de 2015 (115.29 g.p.s m⁻² mes⁻¹). En este sitio la producción de flores y frutos es casi nula en los primeros meses de ambos años, alcanzando su máximo aporte (4.75 g.p.s m⁻² mes⁻¹) en agosto de 2015. La producción

de hojas máxima se da en el mes de mayo de 2015 ($84.42 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$). Mahahual 2 tiene una productividad máxima de $38.37 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en octubre de 2017 y la mínima de $1.64 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en agosto del 2016. El máximo aporte de estructuras reproductivas a la productividad se da en noviembre de 2016 ($23.74 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) y el de hojas es en junio del mismo año ($22.41 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$). En Mahahual 3 la productividad máxima es de $29.84 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en el mes de marzo de 2015, de los cuales $29.37 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ son aportados por el componente de hojas. La producción de estructuras reproductivas es casi nula durante todo el año, siendo $2.52 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ el máximo valor registrado para este componente en diciembre de 2016. En el sitio Mahahual 4 la máxima productividad ($46.40 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) corresponde a agosto de 2016 y la mínima ($5.33 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) se presentó en junio de este año. El máximo aporte de estructuras reproductivas es de $16.33 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en septiembre de 2015 y el de hojas corresponde a $30.72 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en agosto de 2016. En el año 2017 Mahahual 1 presenta una productividad máxima de $74.19 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en el mes de julio de la cual el mayor aporte del componente de hojas fue de $55.86 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$, la producción mínima fue del $22.46 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en el mes de febrero, Mahahual 2 presentó su producción máxima en el mes de junio con un valor de $23.62 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$. En mahahual 3 durante el mes de abril se registró la producción máxima del componente de hojas con $23.11 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ y, por último, Mahahual 4 presentó su máxima productividad con $22.77 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ y su mínima $10.47 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en los meses de enero y febrero, respectivamente (Fig. 171).

Chetumal: De manera general, Tamalcab tiene una productividad más alta que Río Hondo. En Río Hondo la productividad más alta es de $148.38 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en mayo y la más baja ($20.27 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) se observó en enero. La producción de estructuras reproductivas responde a un patrón estacional presentando sus valores más altos en la temporada de lluvias. El máximo aporte es de $21.41 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ y se presentó en julio. En Tamalcab, la productividad más alta igual en el mes de mayo con $203.73 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ y la más baja es de $46.51 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en febrero. El mínimo aporte de estructuras reproductivas ($1.35 \text{ g.p.s m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) ocurre en marzo (Fig. 172).

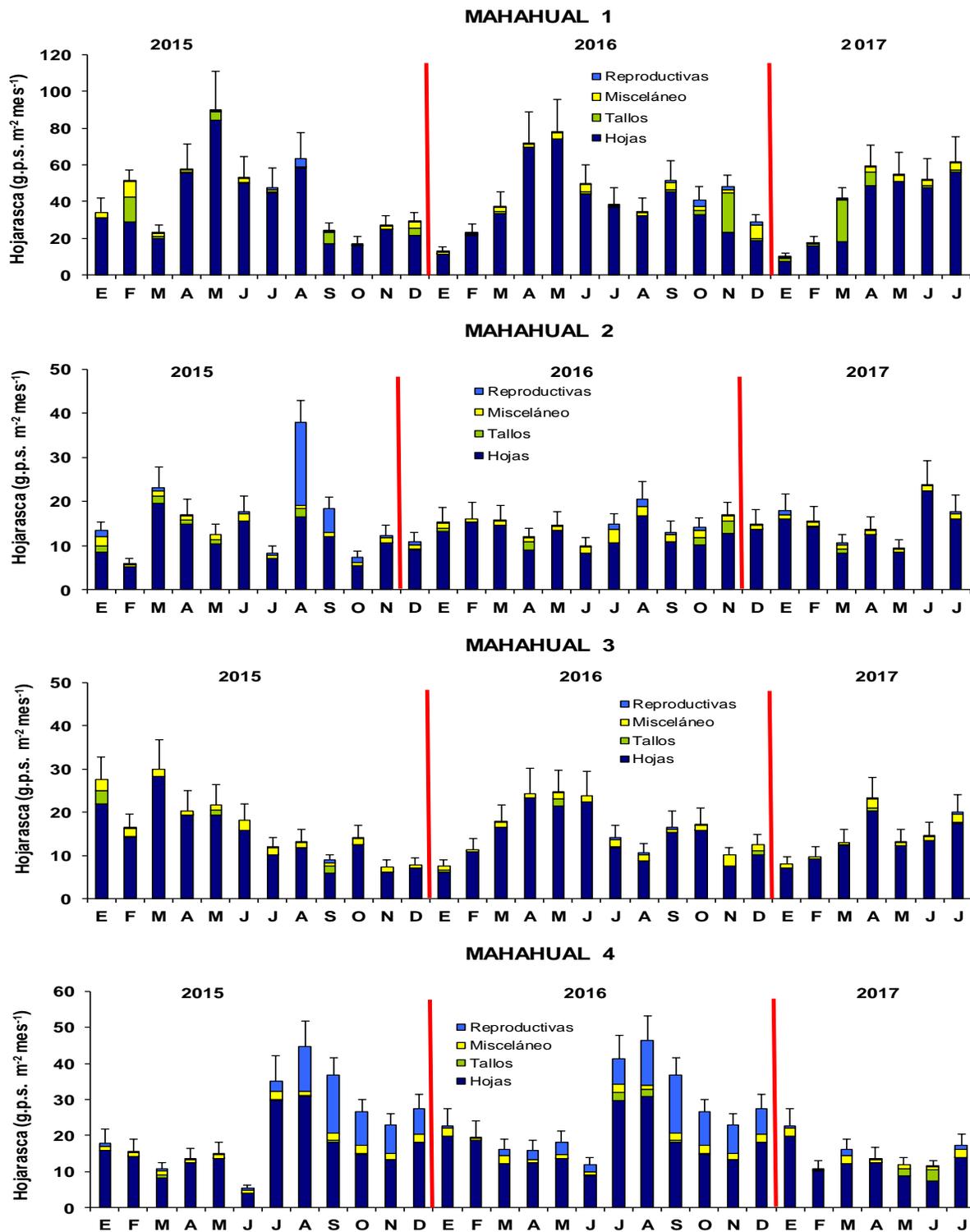


Figura 171. Variación mensual de la productividad aérea por componente en los sitios de monitoreo de manglar en la localidad de Mahahual.

Productividad de raíces finas

Las raíces son encargadas de la captura de nutrientes y agua, además de que sirven de sostén. La productividad de raíces finas representa una gran proporción en la producción primaria neta de los ecosistemas de manglar, contribuye a la acreción vertical y en la habilidad del manglar para mantener el equilibrio con el incremento del nivel del mar. A continuación, se presentan los resultados de la biomasa inicial de raíces (T0, 2015) y el incremento en biomasa de raíces anual de 2015 a 2016 (T1) y de 2016 a 2017 (T2).

Celestún: Para el caso de la localidad de Celestún, el sitio con mayor biomasa de raíces es el de la Boca (5 486 g/m²), presentándose mayor cantidad de raíces duras. El sitio de la zona Puente presentó la menor cantidad de raíces (2 838 g/m²) (Fig. 173). Por otro lado, de 2015 a 2016 la producción de raíces es mayor en la zona Interna (404.98 g/m²/año) con respecto a las zonas Puente y Boca (270.12 y 101.76 g/m²/año, respectivamente). De 2016 a 2017 la producción de raíces tiene el mismo comportamiento (Interna: 351.13 g/m²/año, Puente: 286.48 g/m²/año y Boca: 226.51 g/m²/año), lo cual genera un patrón que se corresponde con el gradiente de salinidad identificado en estos sitios (Fig. 174).

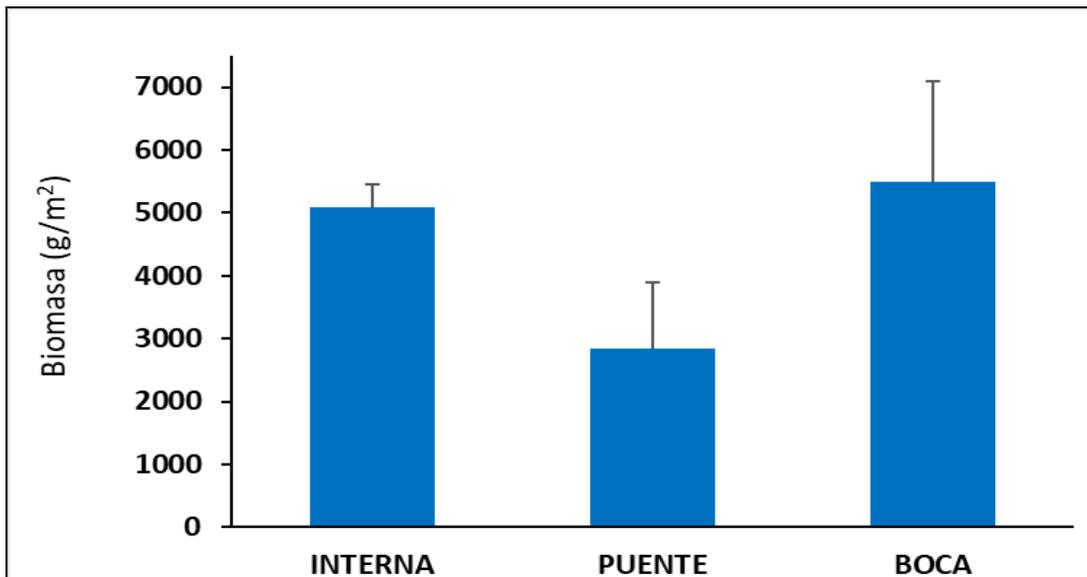


Figura 173. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Celestún.

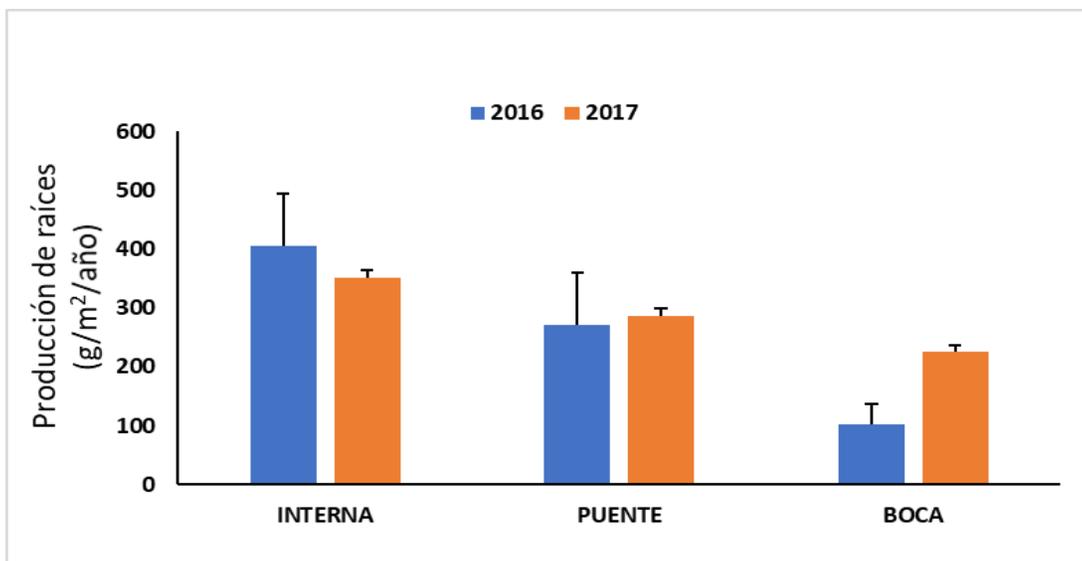


Figura 174. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Celestún.

Sisal: En la localidad de Sisal, el sitio Pecis I presenta 2 859 g/m² en biomasa de raíces, mientras que Pecis II tiene una biomasa radicular de 2 245 g/m² (Fig. 175). En 2016 la producción de raíces en un año en Sisal es mayor en Pecis II (553.79 g/m²/año) y en Pecis I (492.01 g/m²/año), mientras que en 2017 en Pecis II se produjeron más raíces (720.29 g/m²/año) que en Pecis I (557.01 g/m²/año) (Fig. 176).

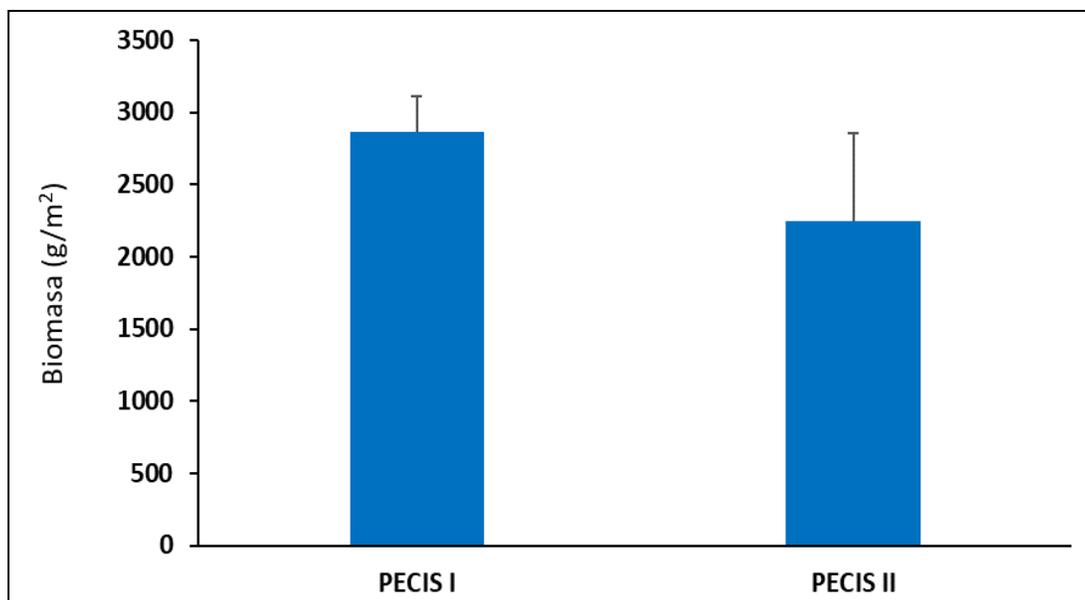


Figura 175. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Sisal.

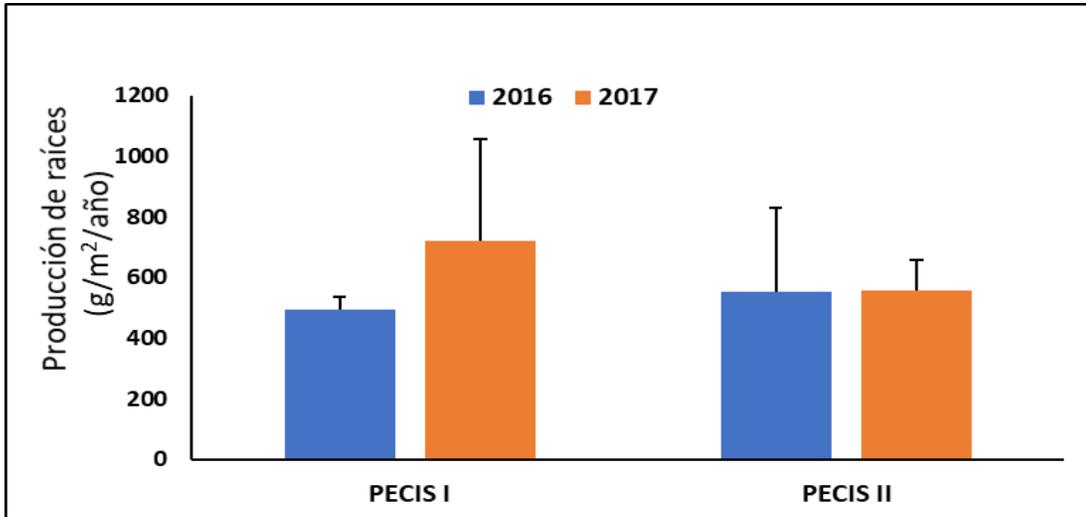


Figura 176. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Sisal.

Progreso: El sitio Contenedores presentó la mayor biomasa de raíces ($6\ 180\ \text{g/m}^2$) con respecto a todos los sitios de monitoreo y, de manera local, con respecto a los sitios Chelem I y Chelem II que presentaron biomásas de $788.61\ \text{g/m}^2$ y $962.37\ \text{g/m}^2$, respectivamente (Fig. 177). Por otro lado, la producción de raíces de 2015 a 2016 es mayor en Chelem II ($1\ 114.94\ \text{g/m}^2/\text{año}$) con respecto a Contenedores y Chelem I (280.11 y $70.03\ \text{g/m}^2/\text{año}$, respectivamente). De 2016 a 2017 se conserva el mismo patrón (Chelem II: $1652.02\ \text{g/m}^2/\text{año}$, Contenedores: $158.44\ \text{g/m}^2/\text{año}$, Chelem I: $42.29\ \text{g/m}^2/\text{año}$) (Fig. 178).

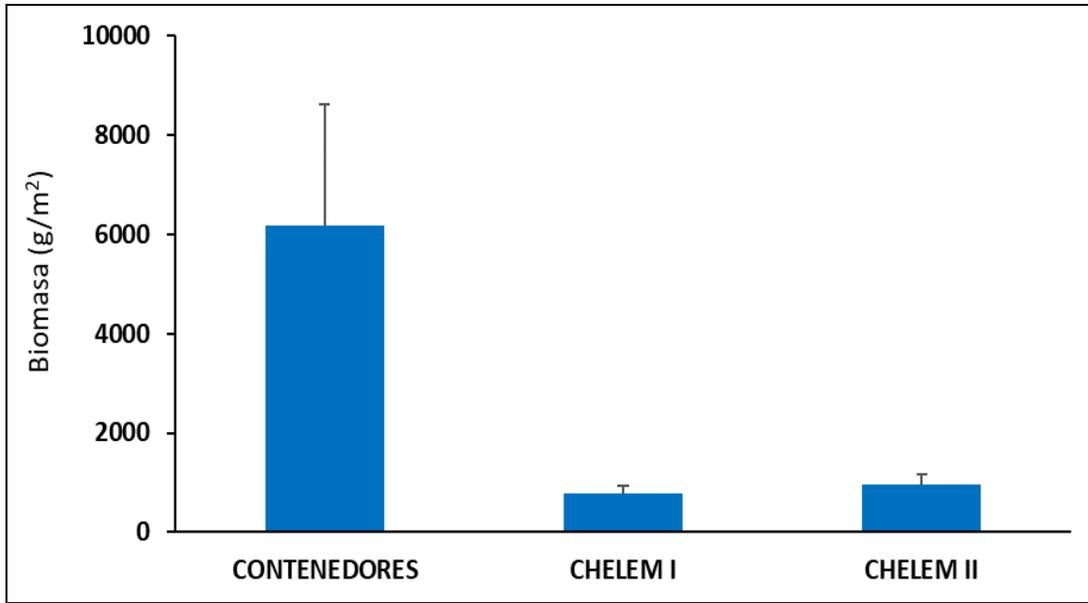


Figura 177. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Progreso.

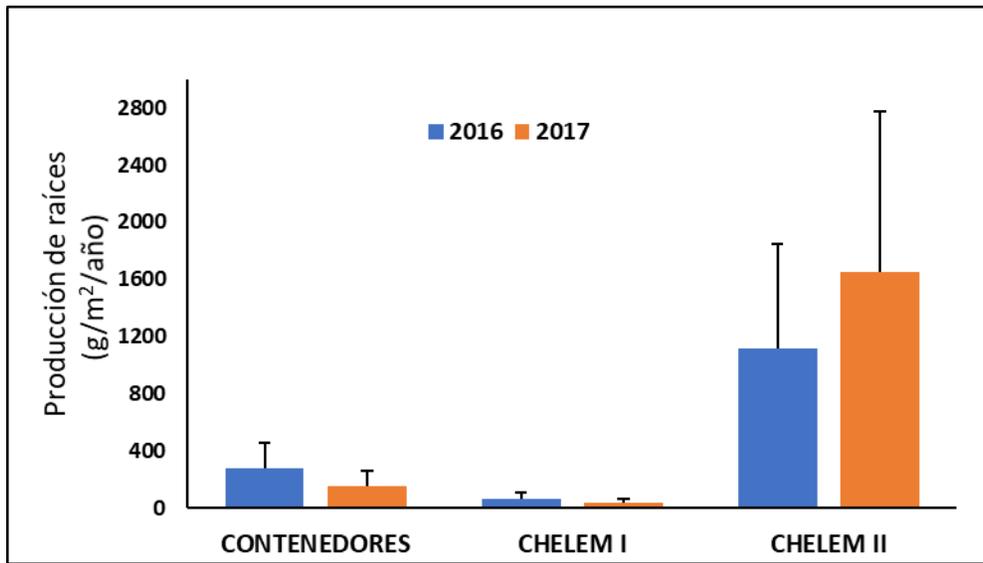


Figura 178. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Progreso.

Dzilam: La biomasa de raíces finas es mayor en el sitio denominado Pueblo (5 240 g/m²) con respecto al sitio Elepeten (3 300 g/m²) (Fig. 179). La producción de raíces de 2015 a 2016 en la localidad de Dzilam es mayor en Elepeten (440.76 g/m²/año) y en Pueblo (138.74 g/m²/año). De 2016 a 2017 en Pueblo la producción de raíces se mantiene a la par que el año anterior (139.40 g/m²/año), pero en Elepeten disminuye a 325.42 g/m²/año (Fig. 180).

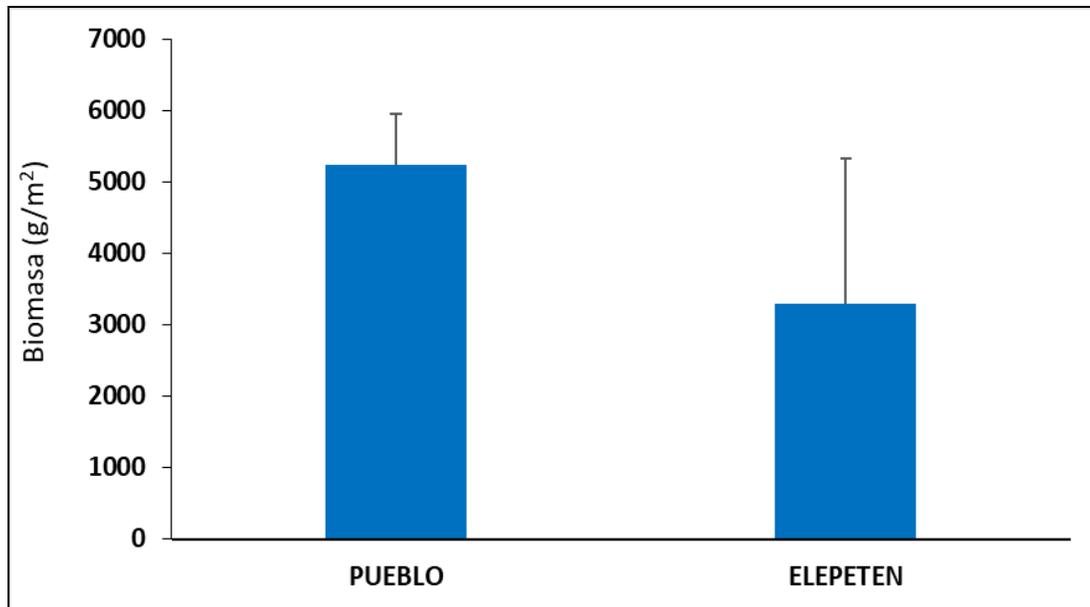


Figura 179. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Dzilam.

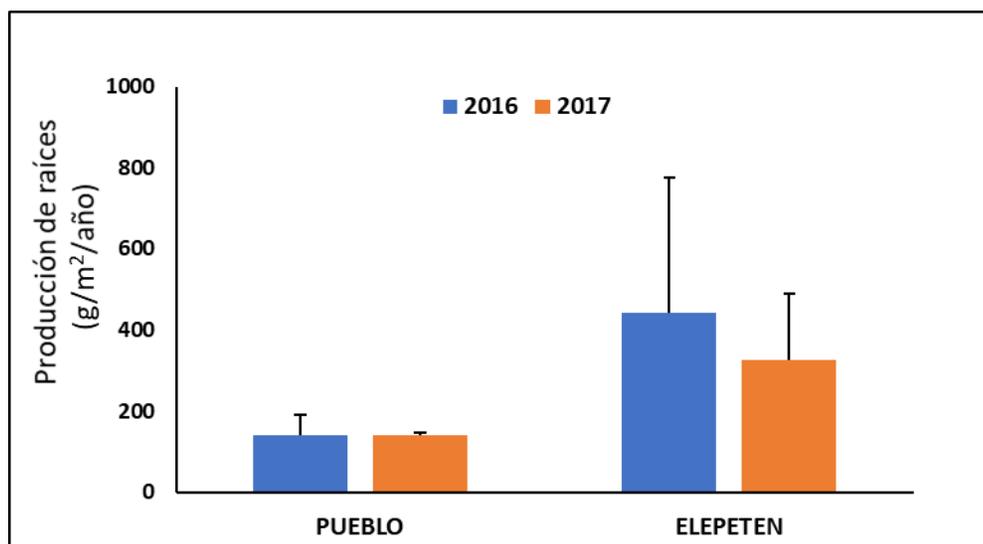


Figura 180. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En esta localidad el sitio llamado Río Lagartos presentó la mayor biomasa de raíces (4710 g/m^2) con respecto al sitio del Cuyo (615 g/m^2), la gran diferencia podría estar determinada por la influencia de las actividades humanas en los sitios (Fig. 181). La producción de raíces el primer año en los sitios de Río Lagartos y El Cuyo es similar con 598.42 y $588.26 \text{ g/m}^2/\text{año}$, respectivamente. El siguiente año en Río Lagartos disminuye a $422.41 \text{ g/m}^2/\text{año}$ y en El Cuyo aumenta a $630.25 \text{ g/m}^2/\text{año}$ (Fig. 182).

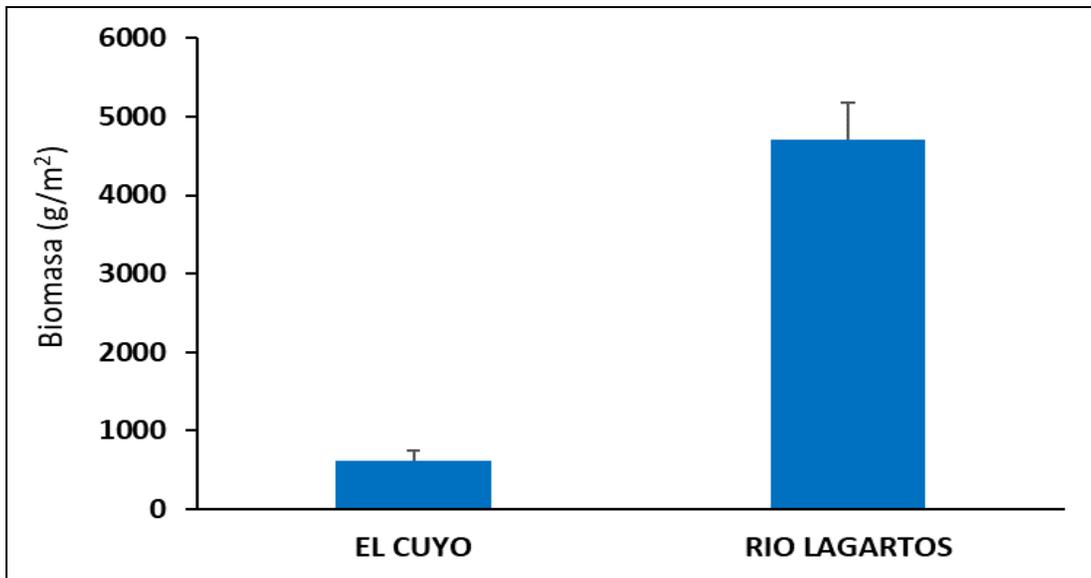


Figura 181. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Río Lagartos.

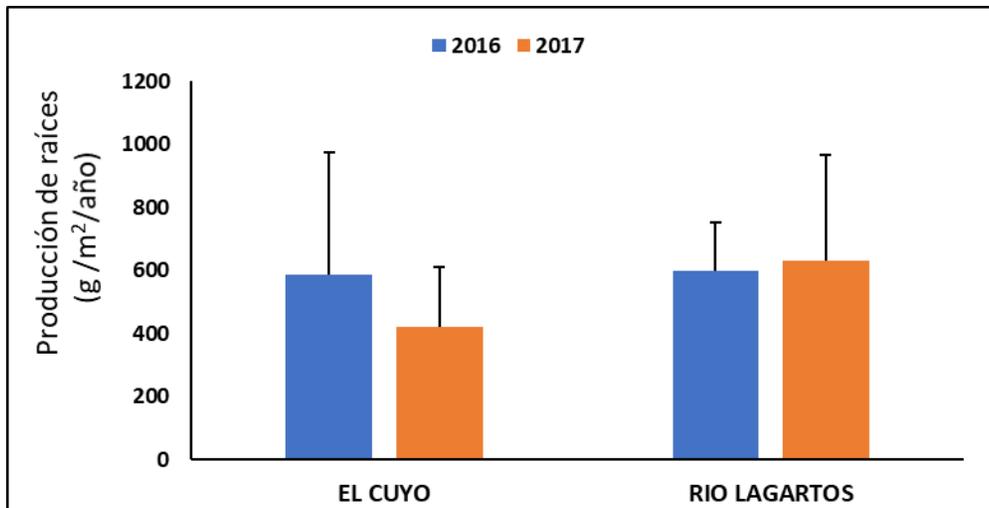


Figura 182. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En Cancún dentro de los sitios que pertenecen a sistema lagunar de Nichupté, el sitio de Polígono 1 presentó la mayor biomasa de raíces (2 657 g/m²) con respecto al sitio Polígono 9 (799 g/m²) (Fig. 183). Los sitios Polígono 9 y 1 presentan una producción de raíces similar de 2015 a 2016 (254.14 y 242.99 g/m²/año, respectivamente). De 2016 a 2017 en Polígono 9 aumenta a 351.13 g/m²/año y en Polígono 1 disminuye a 166.06 g/m²/año (Fig. 184).

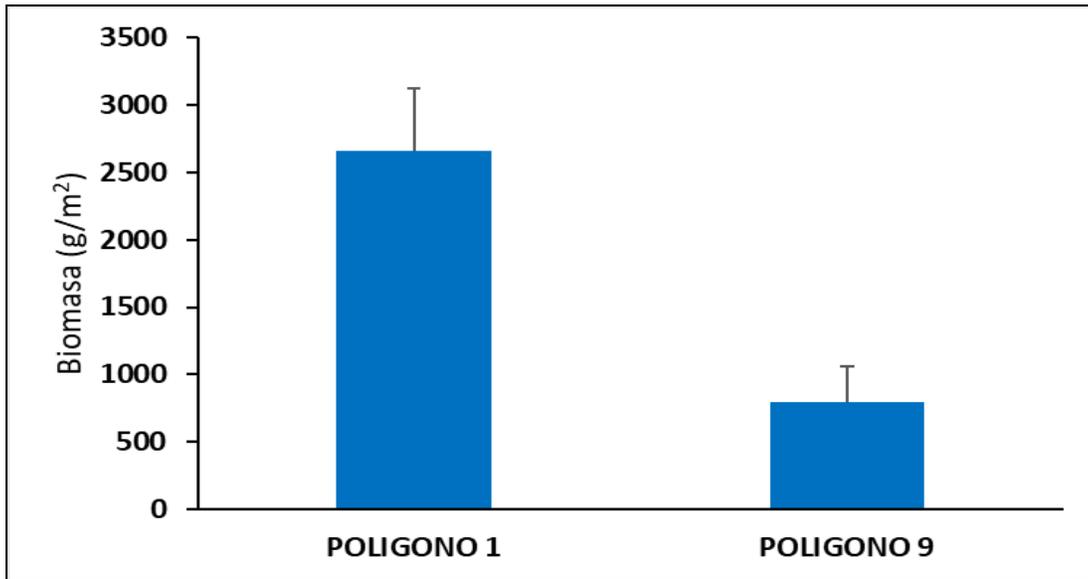


Figura 183. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Nichupté.

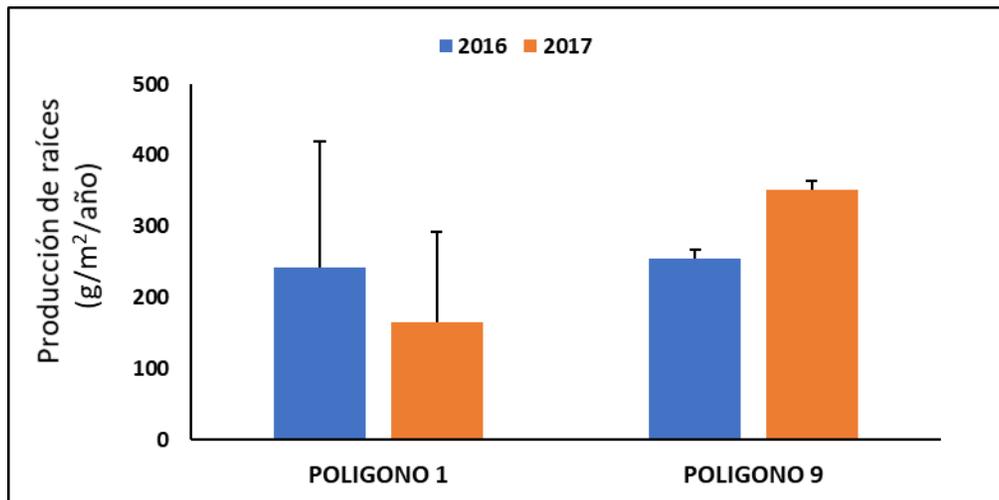


Figura 184. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: En Puerto Morelos, el sitio de la Ceiba presentó biomasa de raíces más alta (2 004 g/m²) que el sitio denominado el CID (706 g/m²) (Fig. 185). El sitio de El Cid presenta la mayor producción de raíces en un año (588.26 g/m²/año) mientras que en La Ceiba es menor (205.05 g/m²/año) (Fig. 186).

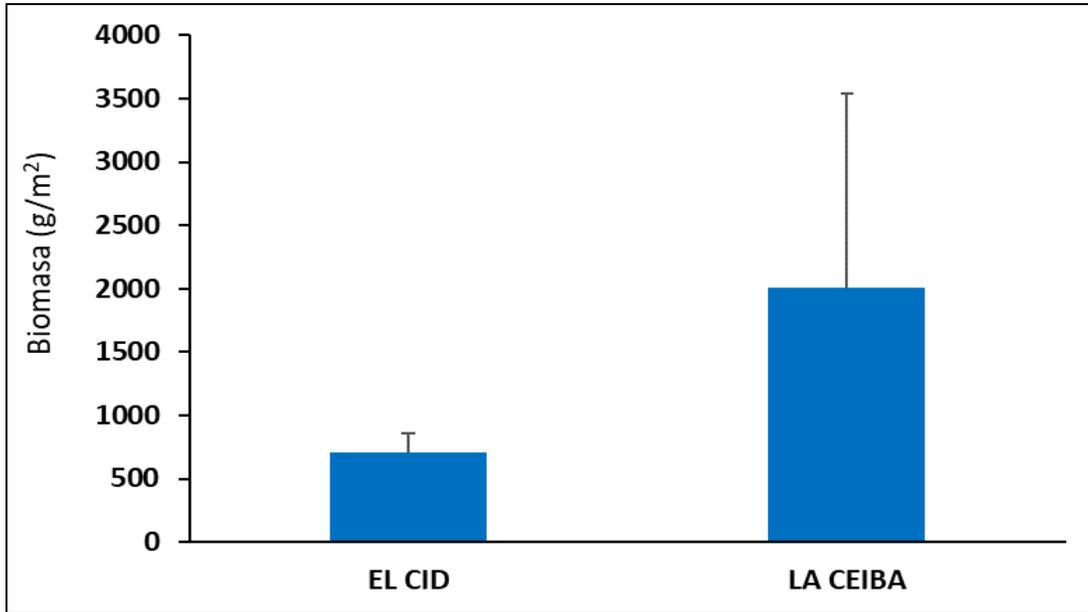


Figura 185. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Puerto Morelos.

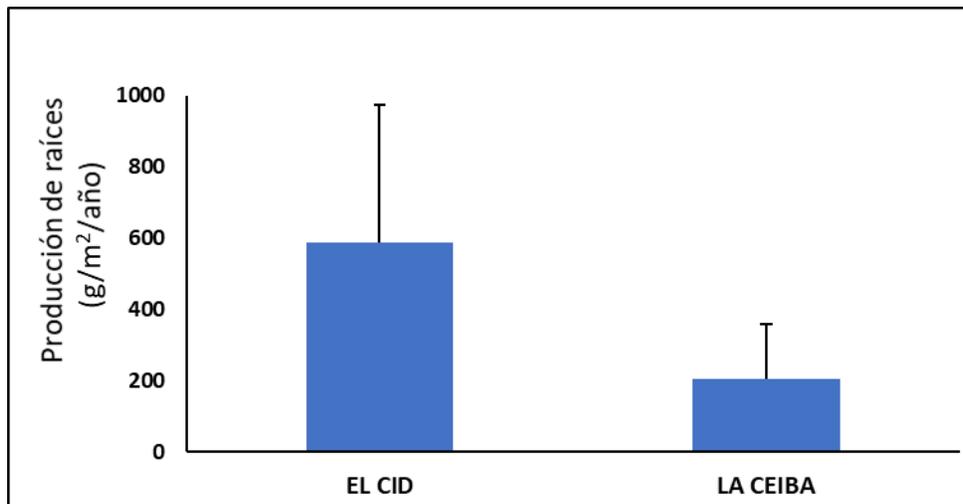


Figura 186. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Puerto Morelos.

Mahahual: El sitio Mahahual 4 presentó la mayor biomasa de raíces (1308 g/m²), seguido de Mahahual 3 (1 161 g/m²) y Mahahual 2 (1121 g/m²), mientras que

Mahahual 1 se presentó la menor biomasa (923 g/m^2) (Fig. 187). De 2015 a 2016 el sitio Mahahual 4 presenta la mayor producción de raíces en un año ($570.79 \text{ g/m}^2/\text{año}$) y Mahahual 3 el menor valor ($19.10 \text{ g/m}^2/\text{año}$) mientras que Mahahual 1 y 2 tuvieron valores similares (280.11 y $244.99 \text{ g/m}^2/\text{año}$). De 2016 a 2017 en Mahahual 1 y 2 estos valores disminuyeron a $158.44 \text{ g/m}^2/\text{año}$ y $166.06 \text{ g/m}^2/\text{año}$, respectivamente; mientras que en Mahahual 3 y 4 se incrementaron a $42.29 \text{ g/m}^2/\text{año}$ y $676.92 \text{ g/m}^2/\text{año}$ en cada sitio (Fig. 188).

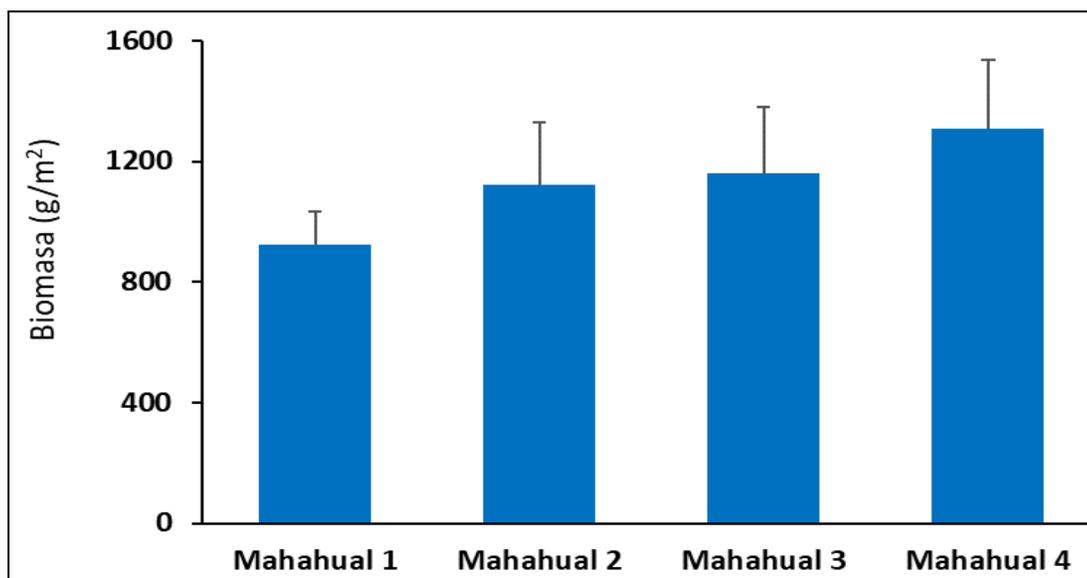


Figura 187. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Mahahual.

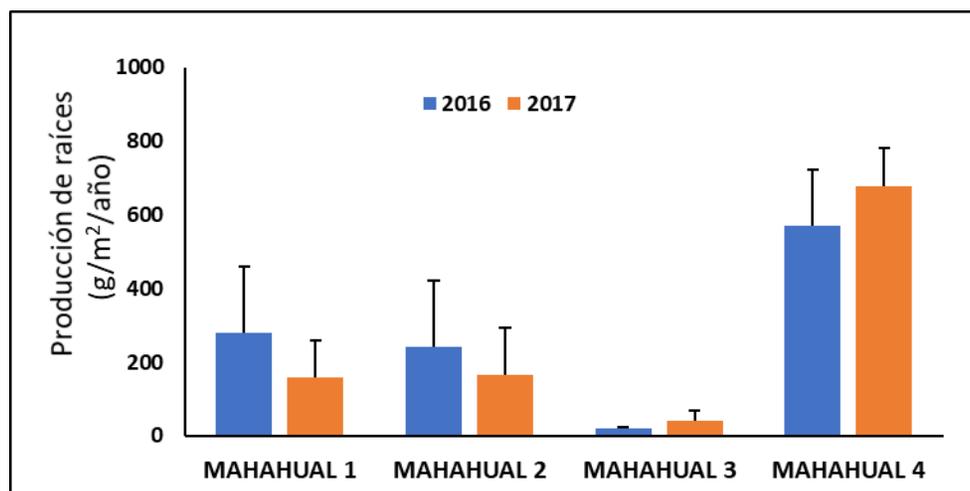


Figura 188. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Mahahual.

Chetumal: El sitio de Río Hondo presentó la mayor biomasa de raíces ($4\,438\text{ g/m}^2$) con respecto al sitio de Tamalcab (823 g/m^2) (Fig. 189). Es importante recalcar que la biomasa de raíces de Río Hondo es la segunda más alta de todos los sitios. Por otro lado, Tamalcab presenta la mayor producción de raíces de 2015 a 2016 ($1114.08\text{ g/m}^2/\text{año}$) y Río Hondo el menor valor ($331.04\text{ g/m}^2/\text{año}$). De 2016 a 2017 se conserva este orden (Tamalcab: $1652.02\text{ g/m}^2/\text{año}$ y Río Hondo: $299.21\text{ g/m}^2/\text{año}$) (Fig. 190).

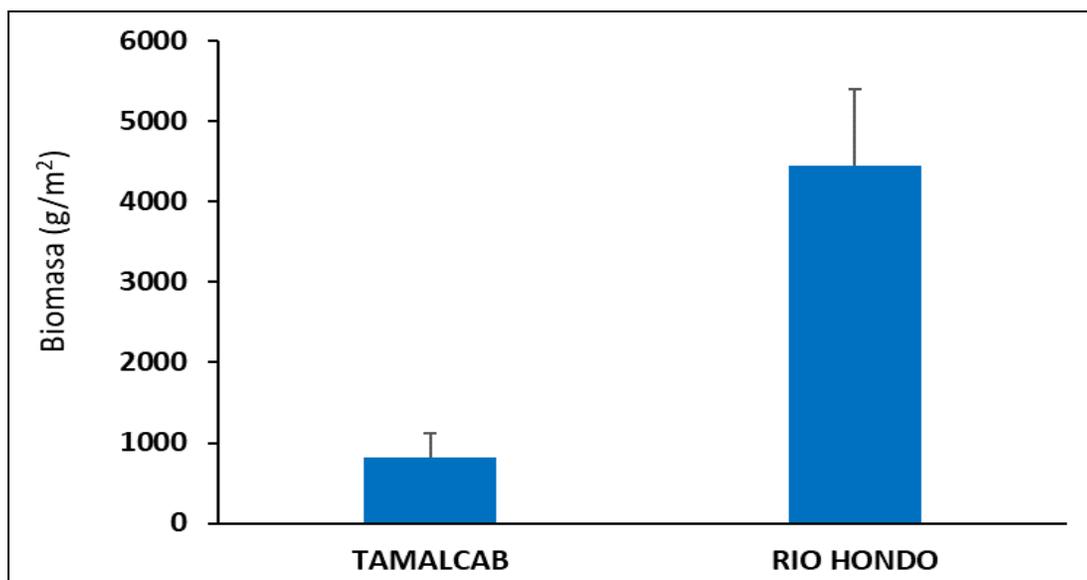


Figura 189. Biomasa de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Chetumal.

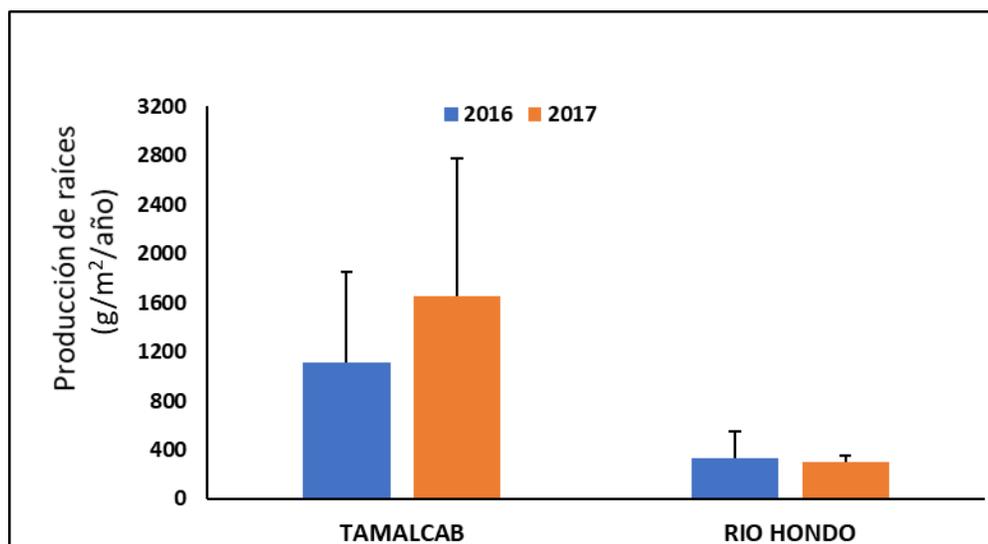


Figura 190. Producción de raíces en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Chetumal.

Productividad de troncos

La biomasa en troncos de los árboles representa una cantidad almacenada en el ecosistema y hace referencia a la concentración de materia orgánica en un momento dado. Este dato es el que se reporta como producción de troncos durante cada año. La determinación de la productividad primaria requiere mediciones sucesivas. La productividad de troncos se reporta como la diferencia de la producción entre años (2015-2016 y 2016-2017).

Celestún: En la localidad de Celestún, durante 2015 la zona Interna tuvo una biomasa de 219.83 ton/ha, la biomasa más alta con respecto a los otros sitios de esta localidad. En el sitio Puente la biomasa fue de 103.67 ton/ha mientras que en el sitio de la Boca la biomasa fue de 66.36 ton/ha. Durante 2016 la zona Interna presenta una biomasa de 222.81 ton/ha, mientras que Puente y Boca presentan 105.29 ton/ha y 67.61 ton/ha, respectivamente. En el año 2017 la zona Interna presenta una biomasa de 225.78 ton/ha, mientras que Puente y Boca presentan 107.32 ton/ha y 68.82 ton/ha, respectivamente (Fig. 191). Con base en lo anterior, el incremento de biomasa de troncos en el periodo 2015-2016 es de 2.98 ton/ha/año en la zona Interna, 1.62 ton/ha/año en la zona del Puente y 1.25 ton/ha/año en la zona de la Boca, mientras que en 2016-2017 es de 2.97 ton/ha/año en Interna, 2.03 ton/ha/año en Puente y 1.21 ton/ha/año en Boca (Fig. 192).

Sisal: En la localidad de Sisal, durante 2015 los sitios Pecis I y Pecis II presentan una diferencia en la biomasa de troncos: Pecis I tiene 26.79 ton/ha y mientras que Pecis II tiene 47.77 ton/ha. En 2016, Pecis I y Pecis II presentan 27.74 ton/ha y 48.9 ton/ha, respectivamente. En el caso de 2017, Pecis I y Pecis II presentan 28.79 ton/ha y 48.41 ton/ha. La especie que aporta la mayor biomasa es *A. germinans* (Fig. 193). En 2015-2016 el incremento de biomasa de troncos en Pecis I es de 0.95 ton/ha/año mientras que en Pecis II es de 1.13 ton/ha/año. En el último año el incremento de biomasa de troncos en Pecis I es de 1.05 ton/ha/año mientras que en Pecis II es de -0.49

ton/ha/año (Fig. 194). Este valor negativo puede deberse a la pérdida de vegetación en la zona.

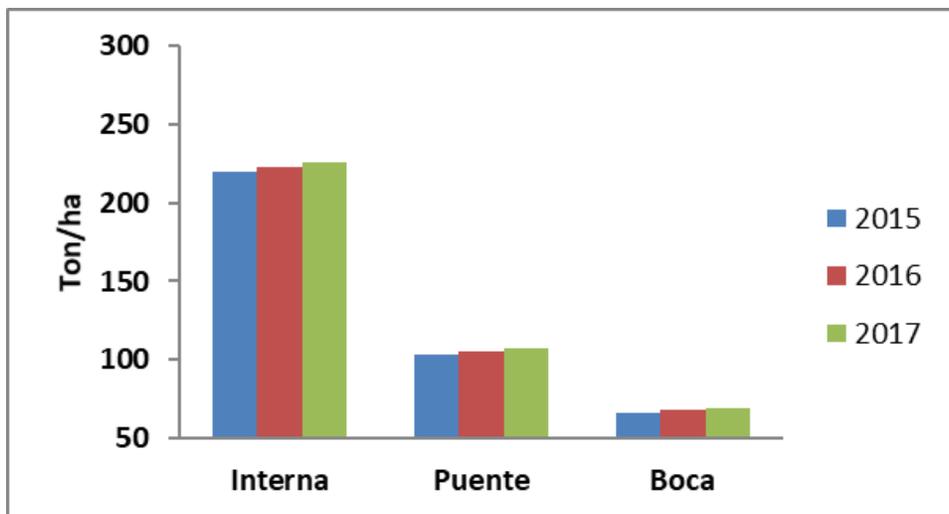


Figura 191. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Celestún.

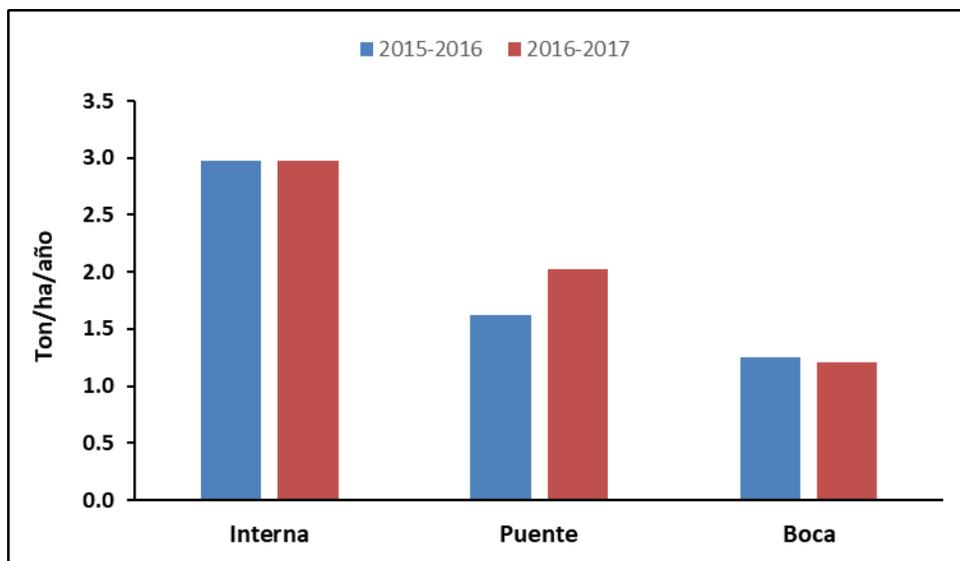


Figura 192. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Celestún.

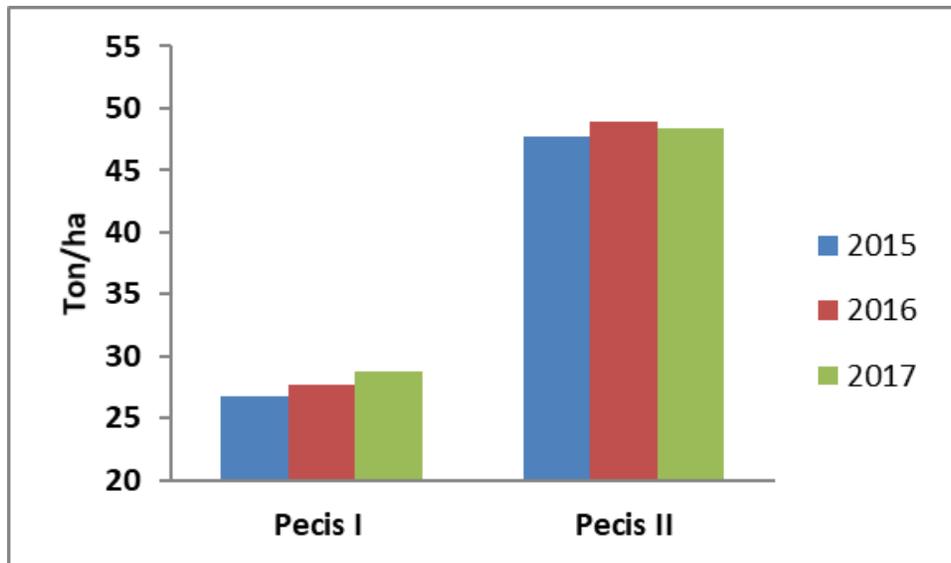


Figura 193. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Sisal.

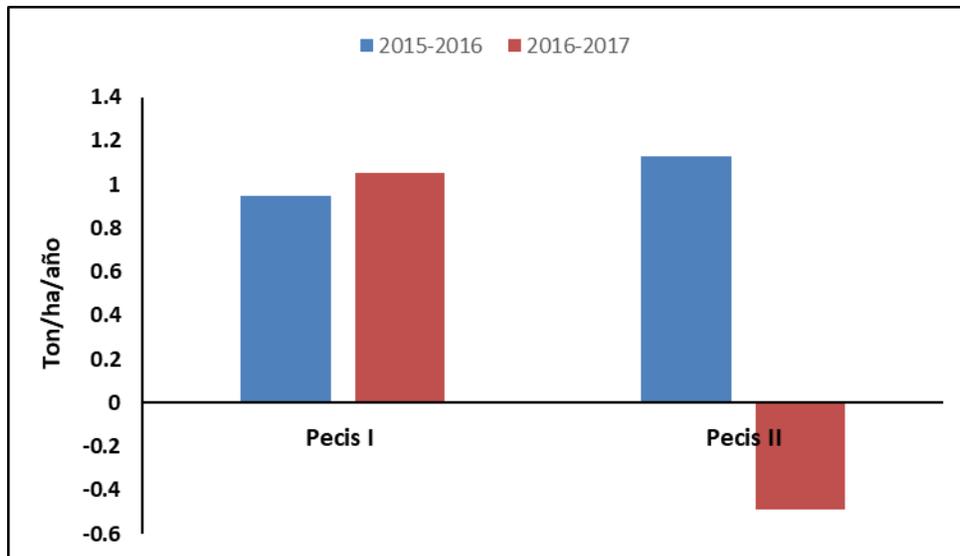


Figura 194. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Sisal.

Progreso: En la localidad de Progreso, durante 2015 Chelem II tuvo la mayor biomasa (104.2 ton/ha) con respecto a los otros dos sitios. Chelem I tuvo una biomasa de 99.3 ton/ha. Por su parte, el sitio denominado Contenedores presentó la menor biomasa de la localidad (31.7 ton/ha) a pesar de que tiene representantes de las tres especies de manglar. Durante 2016, el sitio Chelem II presenta 105.8 ton/ha, mientras que Chelem I tiene una biomasa de 99.9 ton/ha y Contenedores de 34.4 ton/ha. Para el año 2017, el sitio Chelem II presenta 109.7 ton/ha, mientras que Chelem I tiene una biomasa de 101.2 ton/ha y Contenedores de 36.9 ton/ha (Fig. 195) De acuerdo con esto, el incremento de biomasa en troncos en un año (2015-2016) es de 2.7 ton/ha/año en Contenedores, 1.58 ton/ha/año en Chelem II y 0.57 ton/ha/año en Chelem I mientras que en el periodo 2016-2017 el incremento en Contenedores es de 2.5 ton/ha/año, seguido de Chelem II con 3.9 ton/ha/año y Chelem I con 1.3 ton/ha/año (Fig. 196).

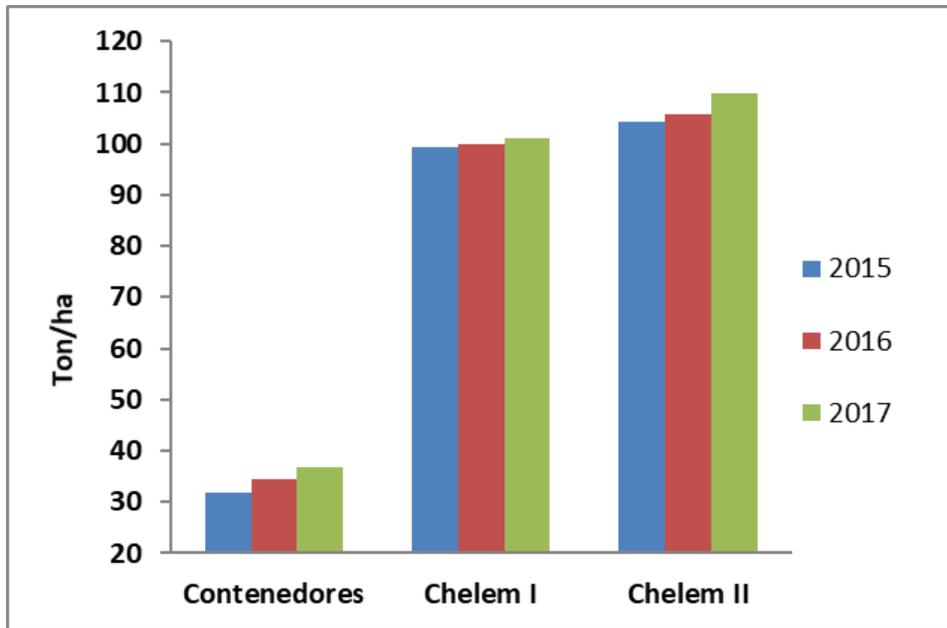


Figura 195. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Progreso.

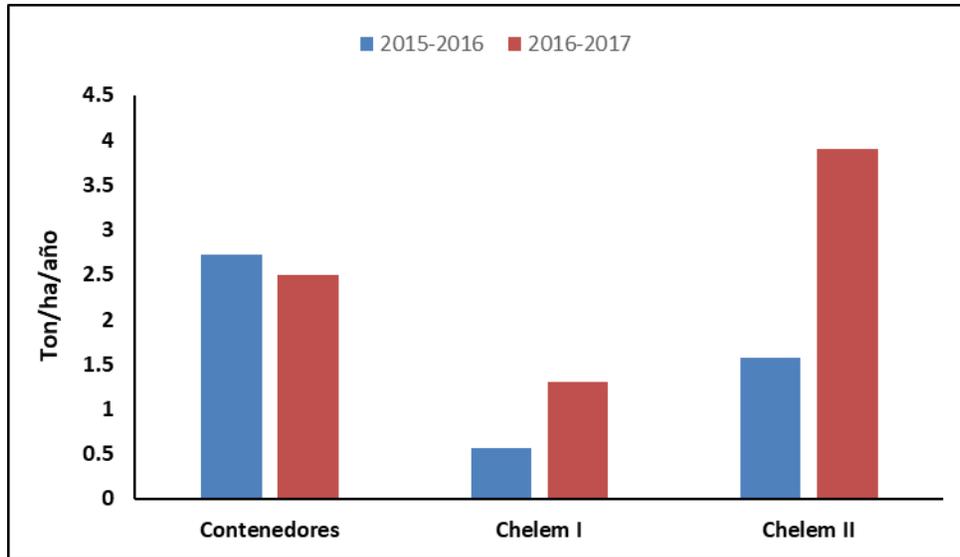


Figura 196. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Progreso.

Dzilam: En 2015 en la localidad de Dzilam los dos sitios presentaron una gran diferencia en su biomasa total, ya que mientras que Elepeten tenía 37.05 ton/ha el sitio denominado Pueblo presentaba 6.99 ton/ha. En 2016, Elepeten y Pueblo presentan 38.37 ton/ha y 7.57 ton/ha, respectivamente mientras que, en 2017, Elepeten presenta 40.05 ton/ha y Pueblo 8.72 ton/ha. Estas diferencias podrían estar dadas por la condición del ecosistema en cada uno de los sitios, ya que Pueblo presenta impacto antrópico (Fig. 197). Con respecto al incremento de biomasa de troncos, en 2015 este es mayor en Elepeten (1.31 ton/ha/año) con respecto a Pueblo (0.58 ton/ha/año). En 2016 el incremento es de 1.68 ton/ha/año en Elepeten y de 1.15 ton/ha/año en Pueblo (Fig. 198).

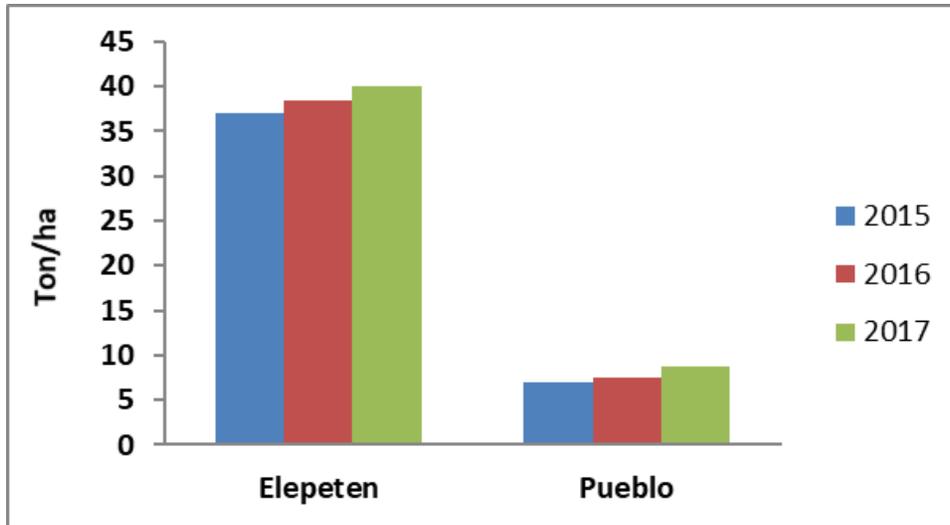


Figura 197. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Dzilam.

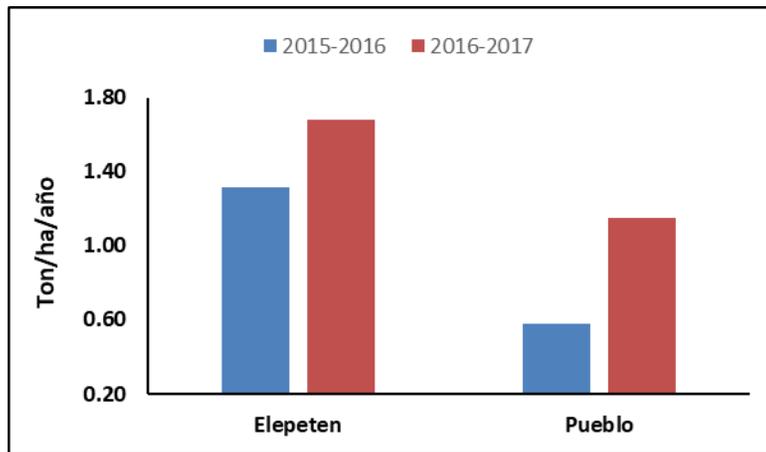


Figura 198. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En la localidad de Río Lagartos, el sitio El Cuyo es el de mayor biomasa de troncos y el sitio Río Lagartos el de menor para esta localidad. Durante 2015, El Cuyo y Río Lagartos presentaron 83.78 ton/ha y 14.42 ton/ha, respectivamente. En el 2016 el Cuyo tuvo una biomasa de 85.52 ton/ha mientras que en Río Lagartos fue de 15.03 ton/ha. En el 2016 el Cuyo registro una biomasa de 88.76 ton/ha mientras que en Río Lagartos fue de 15.93 ton/ha. Es importante mencionar que la biomasa en Río Lagartos está dada únicamente por *R. mangle* (Fig. 199). En 2015-2016 el incremento en biomasa de troncos es mayor en El Cuyo con 1.74 ton/ha/año que en Río Lagartos con 0.61 ton/ha/año, mientras que en 2016-2017

el incremento es de 3.24 ton/ha/año en El Cuyo y en Río Lagartos es de 0.90 ton/ha/año (Fig. 200).

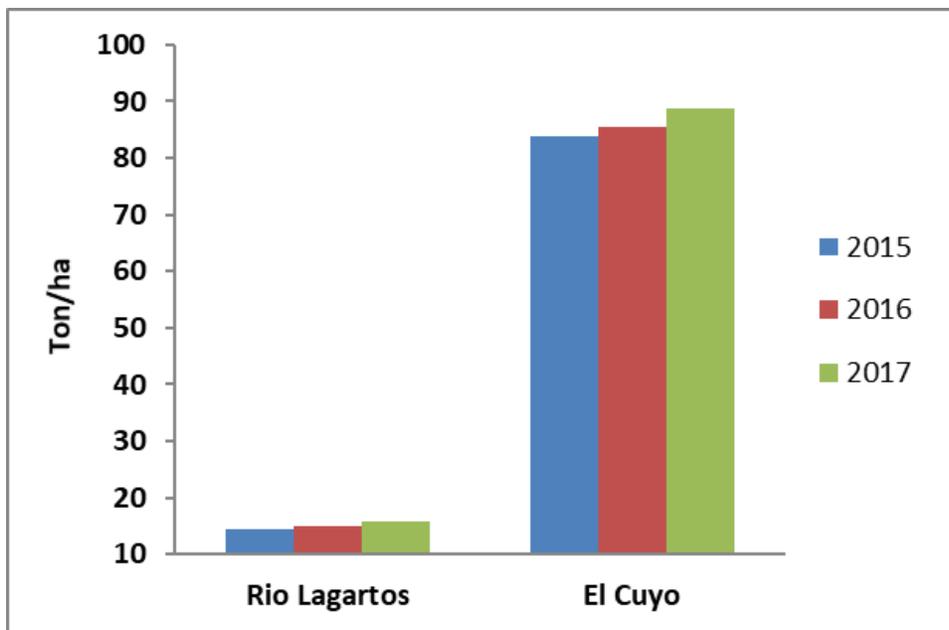


Figura 199. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Río Lagartos.

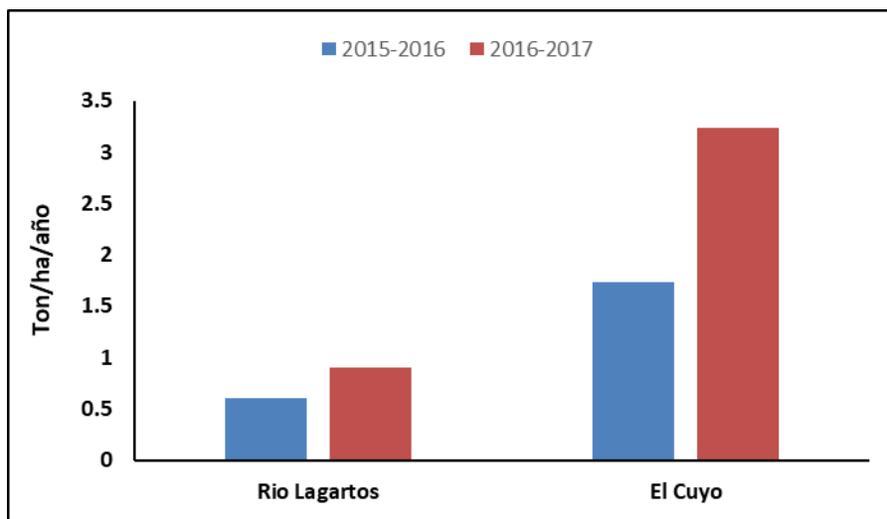


Figura 200. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Río Lagartos.

Nichupté: En los sitios localizados en el complejo lagunar de Nichupté se presenta una gran diferencia en la biomasa de troncos. En 2015 mientras que en Polígono 9 se

presentaban 40.09 ton/ha, en Polígono 1 únicamente había 3.88 ton/ha. Durante 2016 Polígono 9 tiene una biomasa de 41.19 ton/ha mientras que Polígono 1 presenta 4.32 ton/ha. En el 2017 el sitio Polígono 9 tiene una biomasa de 42.26 ton/ha mientras que Polígono 1 presenta 5.37 ton/ha. Es importante mencionar que la biomasa total en ambos sitios está dada únicamente por individuos de *R. mangle* (Fig. 201). El incremento de biomasa de troncos anual (2015-2016) es mayor en Polígono 9 (1.1 ton/ha/año) que en Polígono 1 (0.44 ton/ha/año) En 2016-2017 el incremento en Polígono 9 es de 1.07 ton/ha/año mientras que en Polígono 1 es de 1.05 ton/ha/año (Fig. 202).

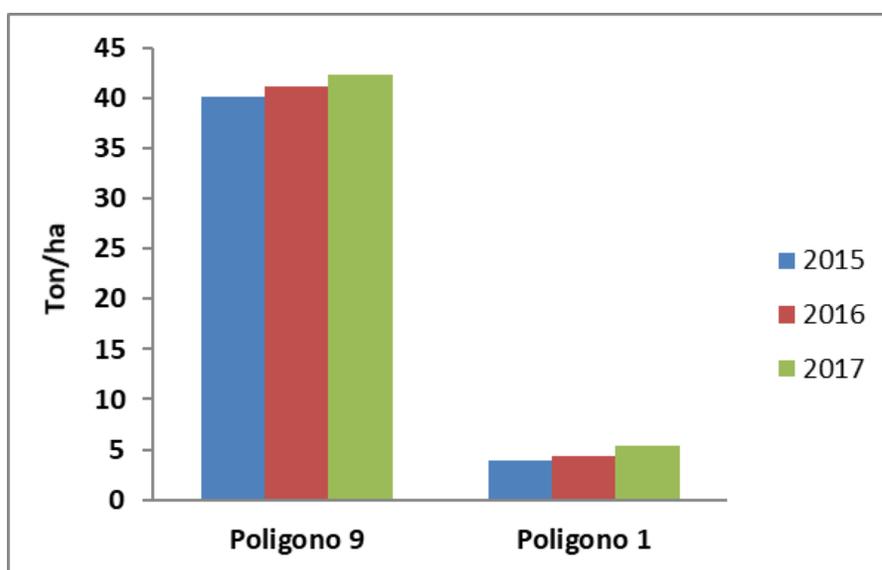


Figura 201. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Nichupté.

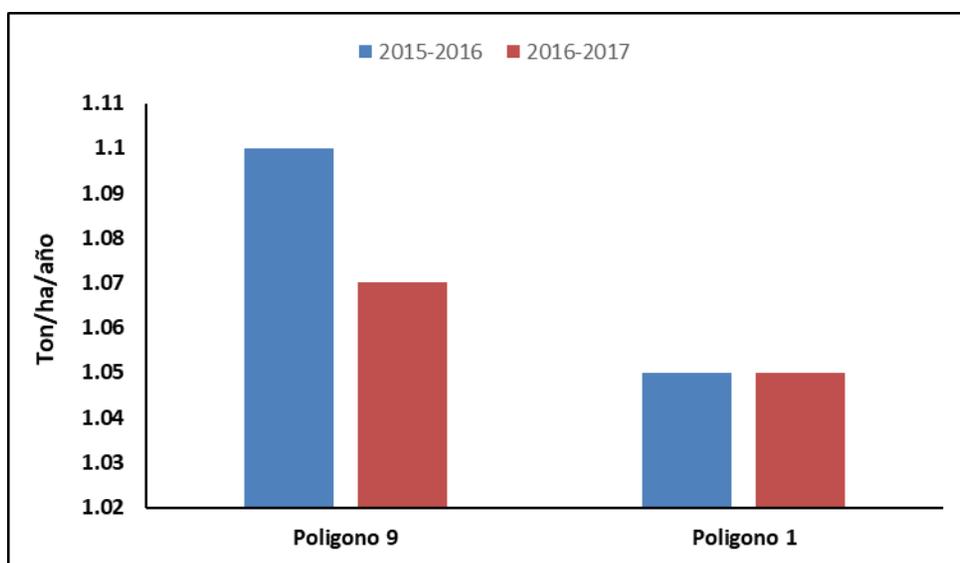


Figura 202. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Nichupté.

Puerto Morelos: En Puerto Morelos, durante 2015 el sitio Ceiba tuvo 145.5 ton/ha de biomasa de troncos. Por su parte, El CID tuvo una biomasa de 90.9 ton/ha dadas en su mayoría por *L. racemosa*. En 2016 Ceiba presenta una biomasa de 148.8 ton/ha y el Cid 93.56 ton/ha. En el 2017 la biomasa de la Ceiba fue de 152.5 ton/ha y del Cid fue de 96.5 (Fig. 203). En 2015-2016 el incremento en biomasa de troncos es de 3.31 ton/ha/año en La Ceiba y de 2.68 ton/ha/año en El CID mientras que en el periodo 2016-2017 es de 3.7 ton/ha/año en La Ceiba y de 2.9 ton/ha/año en El CID (Fig. 204).

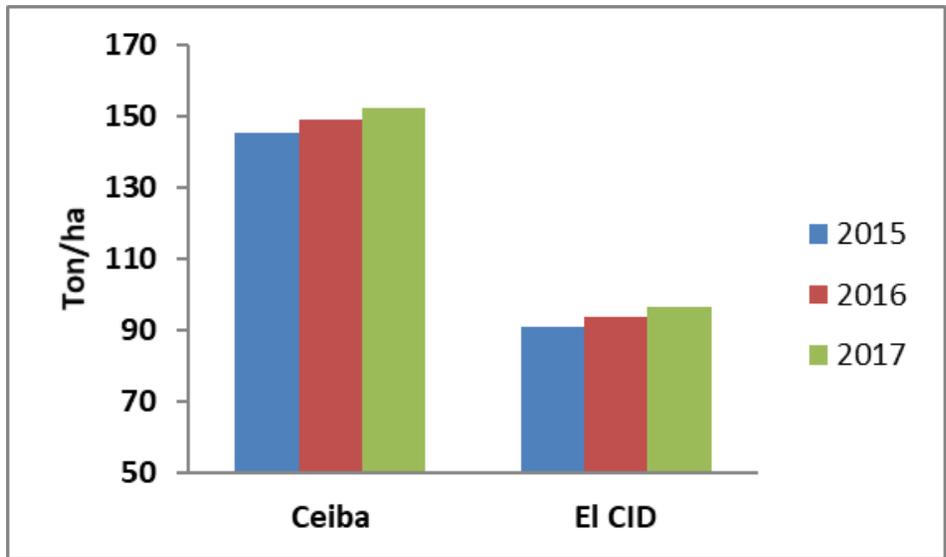


Figura 203. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Puerto Morelos.

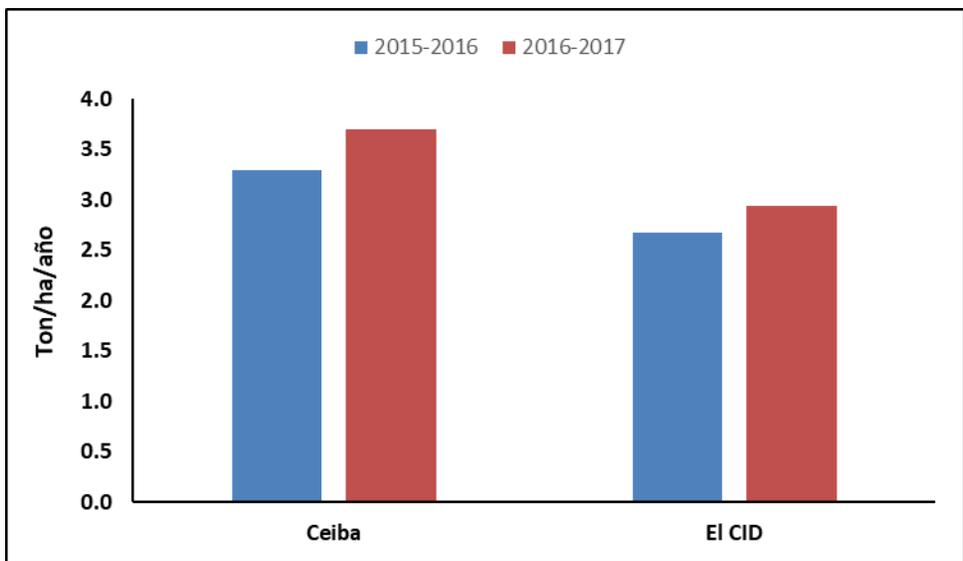


Figura 204. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Puerto Morelos.

Mahahual: En la localidad de Mahahual los cuatro sitios varían en sus biomásas. Durante 2015 Mahahual 2 tenía la mayor cantidad de biomasa con respecto a los otros sitios (40.15 ton/ha), seguido de Mahahual 1 y Mahahual 4 que presentaban biomásas de 29.94 y 25.84 ton/ha, respectivamente. Mahahual 3 presentó la menor biomasa de troncos en la localidad con 18.97 ton/ha. Durante 2016, se conserva el mismo patrón: Mahahual 2 con 40.35 ton/ha, Mahahual 1 con 30.19 ton/ha, Mahahual 4 con 26.05 ton/ha y, por último, Mahahual 3 con 19.21 ton/ha. Para el 2017, Mahahual 2 sigue presentando la mayor biomasa con 42.01 ton/ha, Mahahual 1 con 31.13 ton/ha, Mahahual 4 con 27.24 ton/ha y, por último, Mahahual 3 con 19.84 ton/ha. Cabe mencionar que en todos los sitios la biomasa total corresponde a ejemplares de *R. mangle* (Fig. 205). El incremento en la biomasa de troncos en el primer año (2015-2016) es mayor en Mahahual 1 (0.25 ton/ha/año) seguido de Mahahual 3 (0.24 ton/ha/año), Mahahual 4 (0.21 ton/ha/año) y Mahahual 2 (0.20 ton/ha/año). En el segundo año (2016-2017) el incremento mayor es de 1.66 ton/ha/año en Mahahual 2, seguido de Mahahual 4 con 1.19 ton/ha/año, Mahahual 1 con 0.94 ton/ha/año y, finalmente, Mahahual 3 con 0.63 ton/ha/año (Fig. 206).

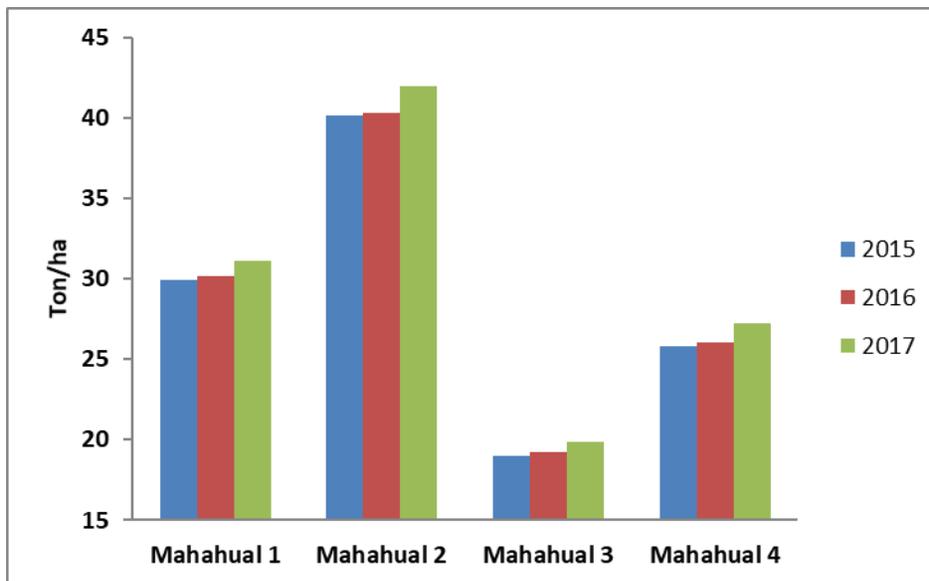


Figura 205. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Mahahual.

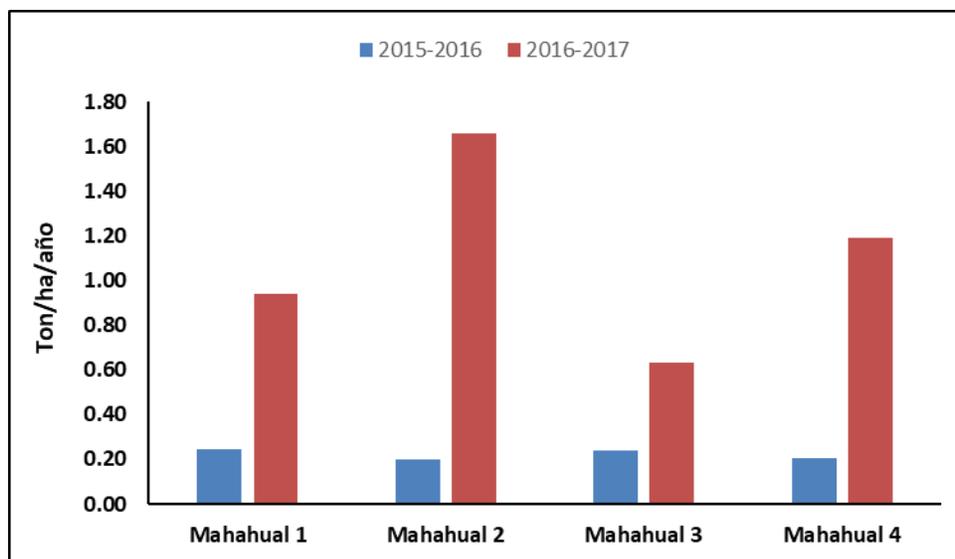


Figura 206. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Mahahual.

Chetumal: En la localidad de Chetumal, durante 2015 el sitio Tamalcab tenía mayor biomasa (65.6 ton/ha) que Río Hondo (22.9 ton/ha). En 2016, Tamalcab tiene una biomasa de 67.35 ton/ha, mientras que en Río Hondo es de 23.39 ton/ha. En 2017, Tamalcab tiene una biomasa de 69.0 ton/ha, mientras que en Río Hondo es de 24.1 ton/ha. Los aportes por especie se encuentran dominados por *A. germinans* en Tamalcab y por *C. erectus* en Río Hondo (Fig. 207). El incremento de biomasa en troncos en el periodo 2015-2016 es de 1.71 ton/ha/año en Tamalcab y de 0.47 ton/ha/año en Río Hondo, mientras que en 2016-2017 es de 1.65 ton/ha/año en Tamalcab y de 0.71 ton/ha/año en Río Hondo (Fig. 208).

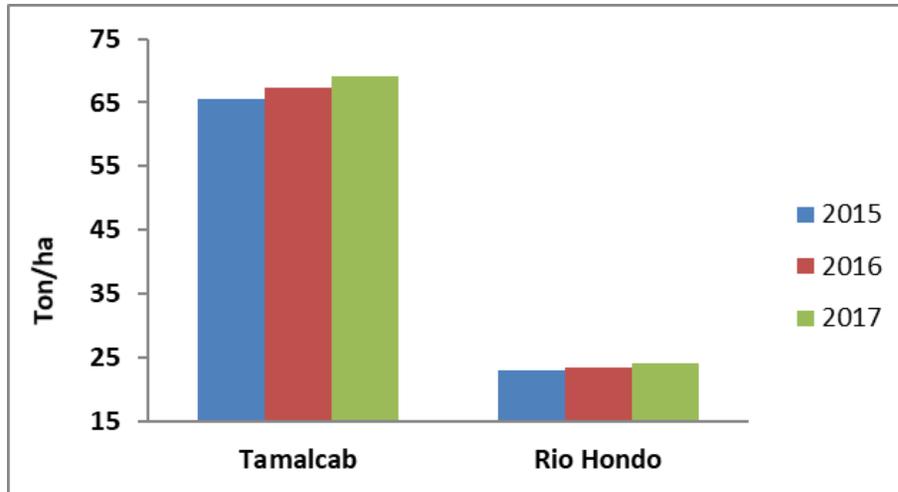


Figura 207. Biomasa de troncos en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Chetumal.

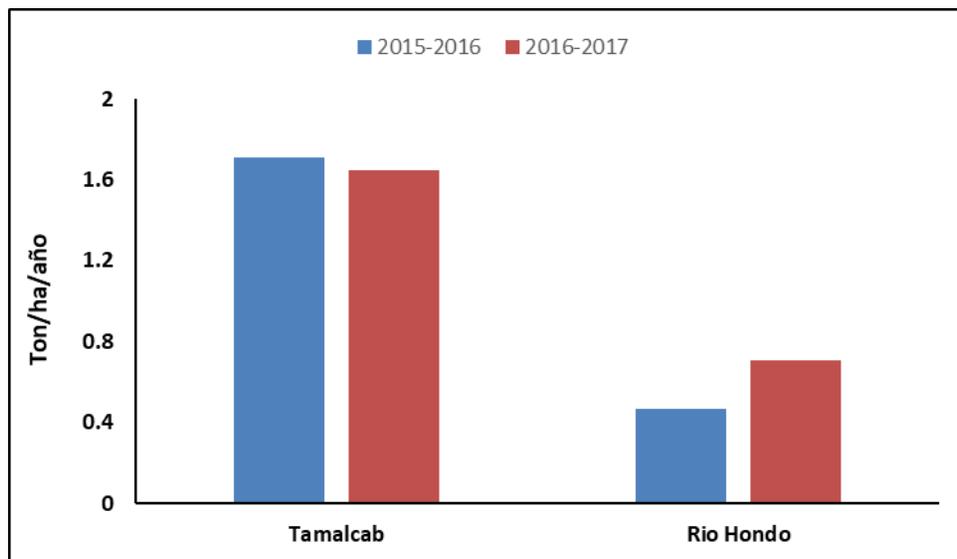


Figura 208. Incremento de biomasa de troncos por año en los sitios de monitoreo de manglar de la localidad de Chetumal.

X. RESUMEN FINAL DE VARIABLES

Es importante poner en contexto cada una de las variables analizadas en la caracterización y monitoreo de los manglares con respecto a la variabilidad que existe en las localidades de la Península de Yucatán. A continuación, se describe cada una de ellas.

1. Clima

La precipitación acumulada promedio en el periodo de monitoreo para los sitios de la Península de Yucatán es de 66.99 mm al mes. La variabilidad entre las localidades de Yucatán y Quintana Roo es correspondiente con el gradiente de precipitación de noroeste a sur que es ampliamente descrito en la Península de Yucatán. Durante los tres años de monitoreo, la localidad más seca ha sido Dzilam (34.21 mm) y la más húmeda Mahahual (90.96 mm). De manera general, en el contexto espacial las localidades al norte (en el estado de Yucatán) son más secas que las del este (Quintana Roo) (Fig. 209).

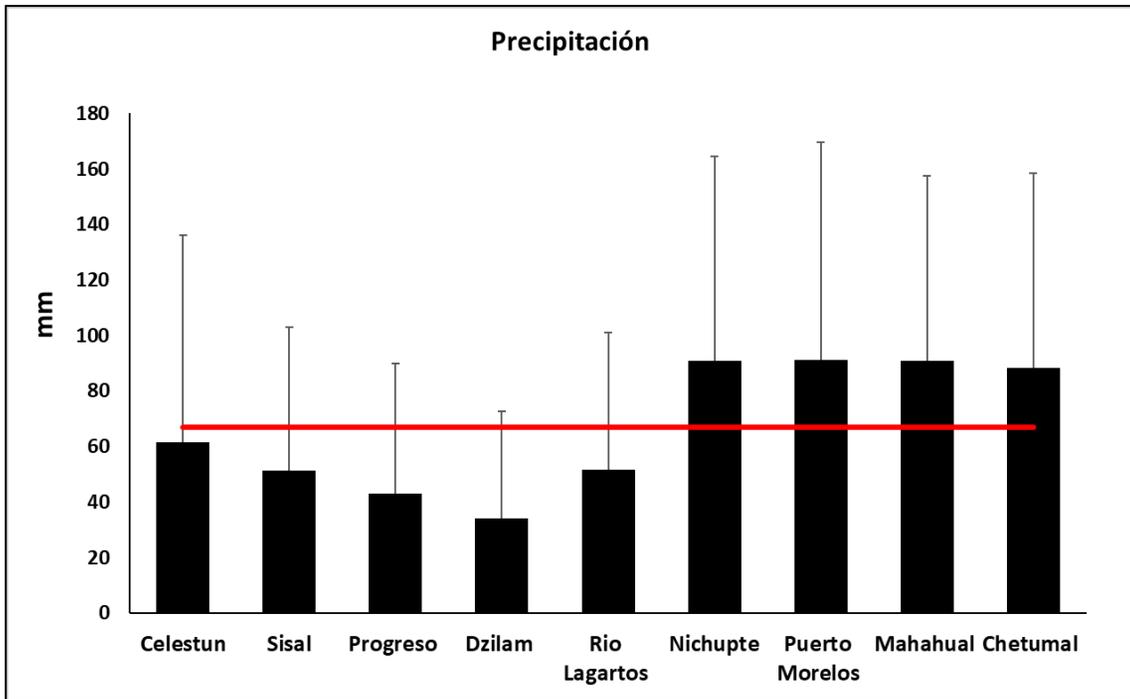


Figura 209. Promedio de precipitación acumulada por mes por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

La temperatura promedio de las localidades de monitoreo de la península de Yucatán durante el periodo que comprende este trabajo es de 26.5 °C. De manera general, en la mayoría de las localidades el mes más frío es diciembre y el más caluroso es junio. De acuerdo con los promedios generales, las localidades que se encuentran por encima del promedio total son Sisal, Mahahual y Chetumal, siendo este último el más caluroso (28.01 °C) con respecto a los demás sitios monitoreados. Por lo contrario, el sitio más fresco es Río Lagartos (25.89 °C) (Fig. 210).

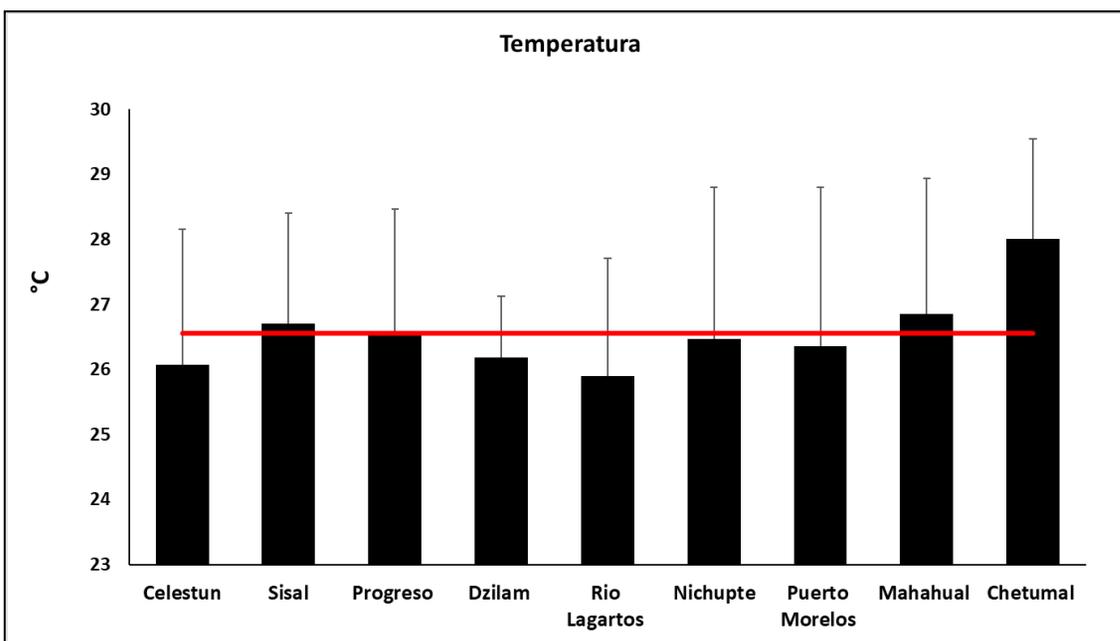


Figura 210. Temperatura promedio mensual por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

2. Biogeoquímica: Densidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo total

Densidad aparente

Durante los tres años de monitoreo la densidad aparente tiene una media general de 0.389 g/cm^3 . Las localidades con sedimentos más densos (arriba de la media general) son Sisal (0.732 g/cm^3), Dzilam (0.531 g/cm^3), Progreso (0.439 g/cm^3) y Río Lagartos (0.430 g/cm^3); las localidades con menor densidad (abajo de la media general) son Chetumal (0.343 g/cm^3), Mahahual (0.311 g/cm^3), Celestún (0.274 g/cm^3), Nichupté (0.255 g/cm^3) y Puerto Morelos (0.190 g/cm^3) (Fig. 211).

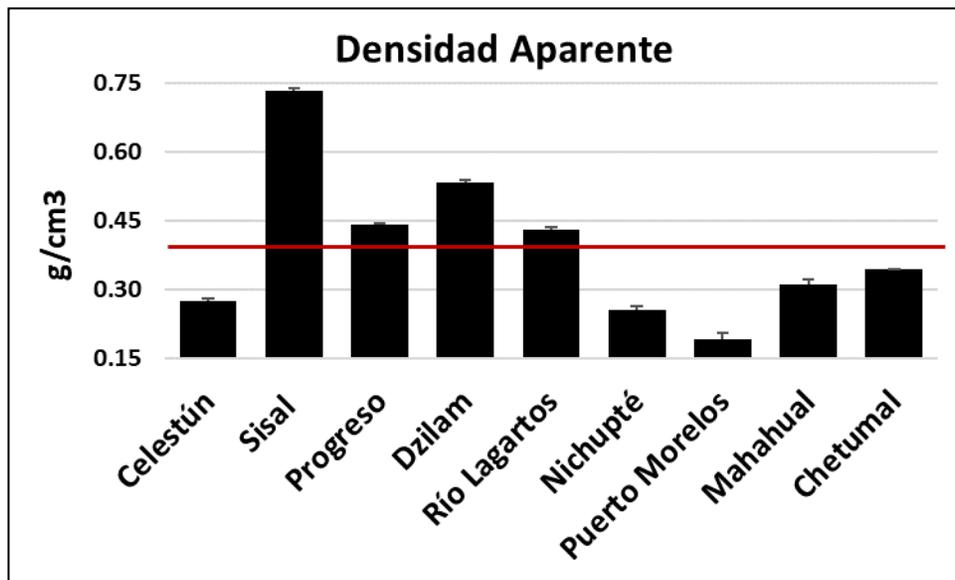


Figura 211. Densidad aparente promedio por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

Materia orgánica

El contenido de materia orgánica promedio es de 34.6%. Las localidades con mayor contenido de materia orgánica son Puerto Morelos (57.3 %), Nichupté (47.2 %), Mahahual (42.9 %) y Celestún (41.8 %) y las que tienen los menores contenidos son Chetumal (29.1 %), Río Lagartos (28.7 %), Progreso (28 %), Dzilam (19.6 %) y Sisal (16.5 %) (Fig. 212).

Entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica existe una relación, la cual queda de manifiesto en los resultados observados: en los sitios donde los sedimentos poseen una baja densidad suelen predominar suelos con mayor contenido orgánico.

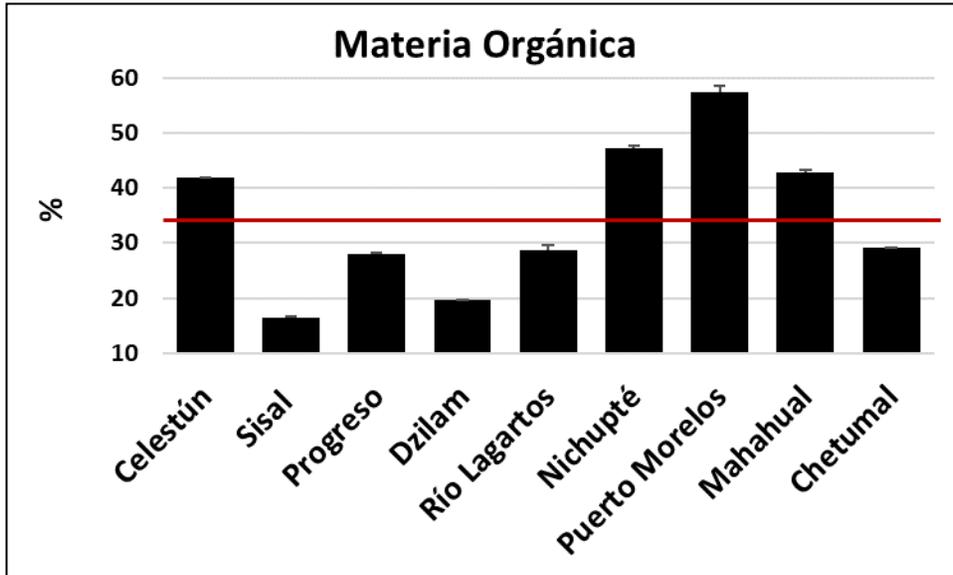


Figura 212. Contenido de materia orgánica promedio por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

Nutrientes (NT y PT)

La media general del contenido de nitrógeno total es de 0.928%. Los sitios que presentan mayor porcentaje de nitrógeno con respecto a la media general son Río Lagartos (1.0 %), Nichupté (1.51 %), Puerto Morelos (1.96 %) y Chetumal (1.04 %).

En cuanto al contenido de fósforo total, la media general es de 0.106%. Siendo Río Lagartos (0.131 %), Nichupté (0.124 %) y Puerto Morelos (0.122 %) los sitios con valores más altos por encima de la media (Fig. 213).

En este sentido es importante destacar que estas localidades con alto contenido de nitrógeno y fósforo se caracterizan por tener cierto grado de influencia antropogénica que pudiera estar incorporando estos nutrientes al sistema, los cuales en exceso pueden ocasionar respuestas negativas en la estructura y función del mismo.

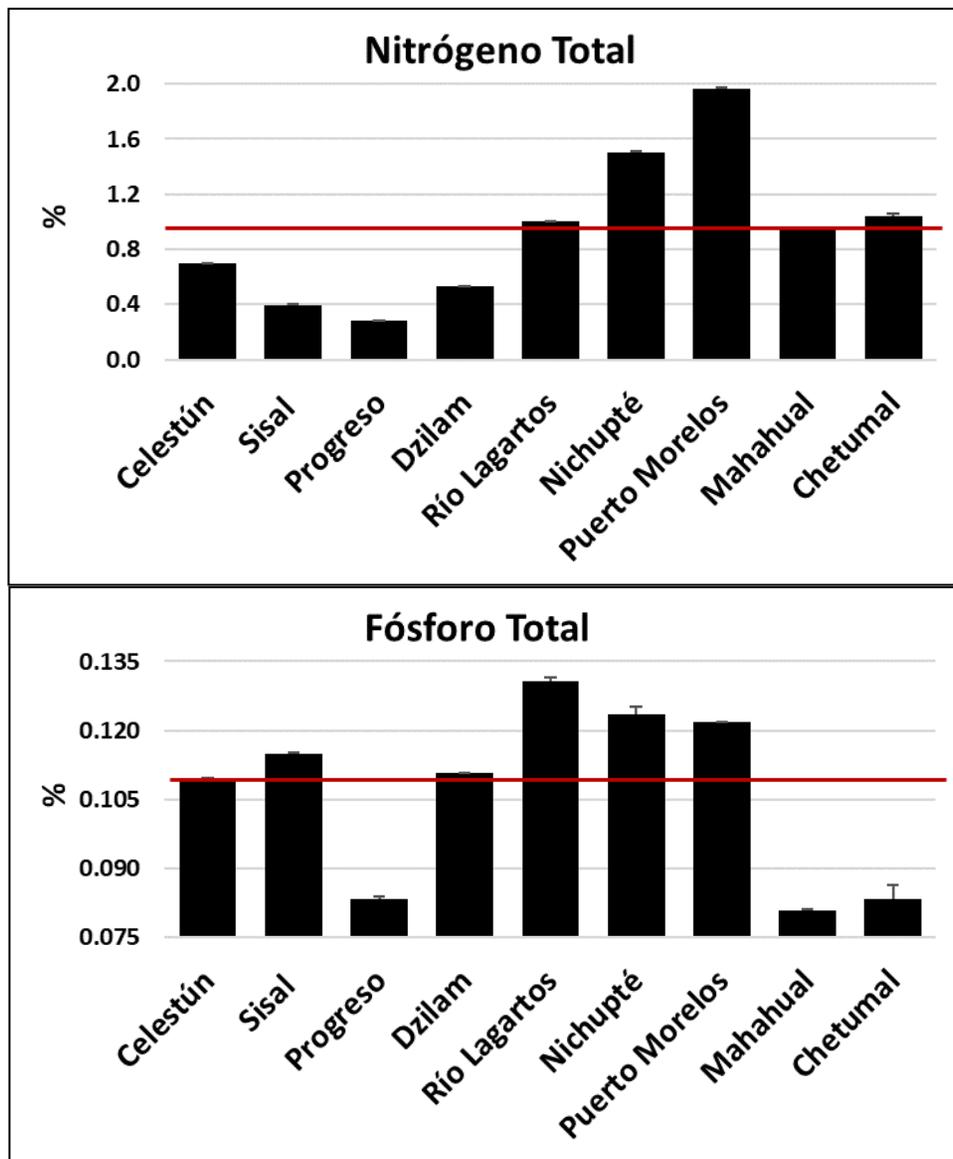


Figura 213. Contenido de nitrógeno y fósforo totales promedio por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

3. Características del agua: Salinidad, pH y Redox

Salinidad

El promedio general de la salinidad durante tres años en los sitios de monitoreo de manglar de Península de Yucatán es de 26.6 g/kg. La localidad con salinidad más alta es Progreso (53.2 g/kg), mientras que la que tiene agua más dulce es Mahahual (2.8 g/kg). De manera general los sitios en Yucatán tienen salinidades más altas que los de Quintana Roo. En este caso queda de manifiesto la influencia marina que tienen los primeros y la influencia de agua dulce que tienen los segundos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta otros fenómenos que pueden influir en la variabilidad de la salinidad al interior de las localidades como es la hidrología, en la que se incluyen los procesos de precipitación y evaporación, así como la dinámica de inundación/seca y la fuente principal de agua (Fig. 214).

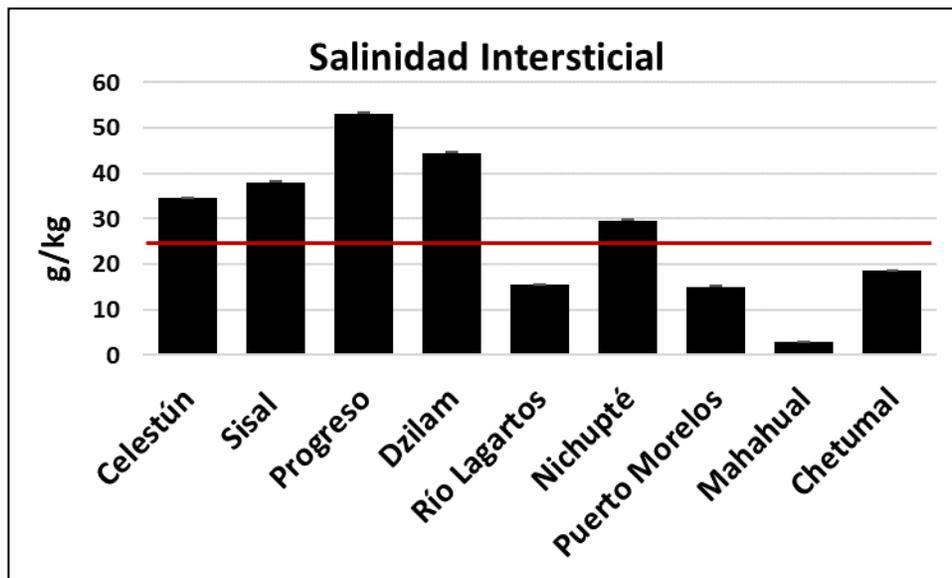


Figura 214. Salinidad promedio del agua intersticial por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

pH

El pH promedio para las localidades de monitoreo de manglares en la península de Yucatán es de 7.1. Predominan sitios con valores de pH por encima del promedio, es decir con suelos alcalinos, pero se destacan Progreso y Nichupté por presentar pH de

6.82 y 6.65, respectivamente, lo cual indica que en esas localidades predominan suelos ácidos (Fig. 215).

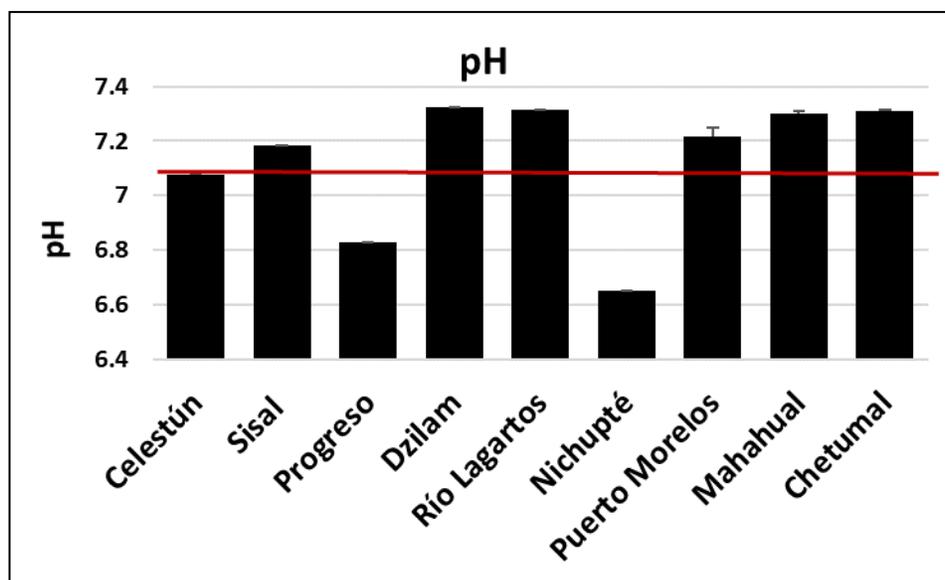


Figura 215. pH promedio por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

Redox

El potencial redox promedio para todos los sitios de monitoreo es de -196 mV, variando desde suelos poco reducidos como los de Sisal (-118.4 mV) a muy reducidos como los de Nichupté (-280.1 mV) (Fig. 216).

Existe una estrecha relación entre el potencial redox y el pH. De acuerdo con los resultados generales de estas variables, Nichupté presenta suelos muy reducidos y un pH ácido. Esto es debido a las características del hidroperíodo, ya que en sitios donde el tiempo de inundación es mayor, el oxígeno se agota y se empiezan a consumir otros elementos para la degradación de la materia orgánica. Este proceso ocasiona la producción de ácidos, los cuales se reflejan en el pH medido.

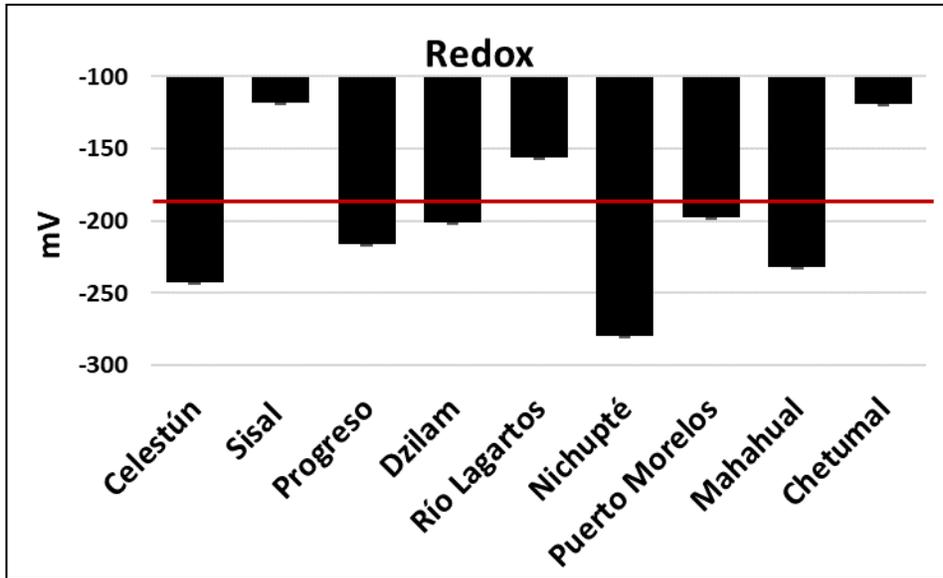


Figura 216. Potencial redox promedio por localidad de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total.

4. Hidroperiodo: Nivel, frecuencia y duración de inundación

El nivel de inundación registró un promedio general de 0.14 m (línea roja, Fig. 217a) las localidades de Celestún (-0.027 m), Sisal (-0.002 m), Río Lagartos (-0.014 m) y Chetumal (-0.074 m) obtuvieron un promedio con valores negativos, indicando que es escasa la inundación. La localidad que registró valores por arriba del promedio regional fue la de Nichupté (0.15 m), indicando que los valores de inundación son superiores durante el periodo de estudio que en el resto de los sitios (Fig. 217a).

La frecuencia de inundación obtuvo un promedio general de 0.33 eventos. Las localidades que están por arriba del promedio fueron las de Celestún (0.47), Sisal (0.64), Dzilam (0.45) y Río Lagartos (0.65) y el resto de los sitios está por debajo del promedio general en esta variable (Fig. 217b).

Para las horas de inundación, las localidades que registraron valores por abajo del promedio global son las de Río Lagartos (8.19 hrs), Puerto Morelos (8.17 hrs), Mahahual (9 hrs) y Chetumal (7.43 hrs). El resto de los sitios obtuvieron promedios superiores al global, indicando que tienen mayores horas de inundación (Fig. 217c).

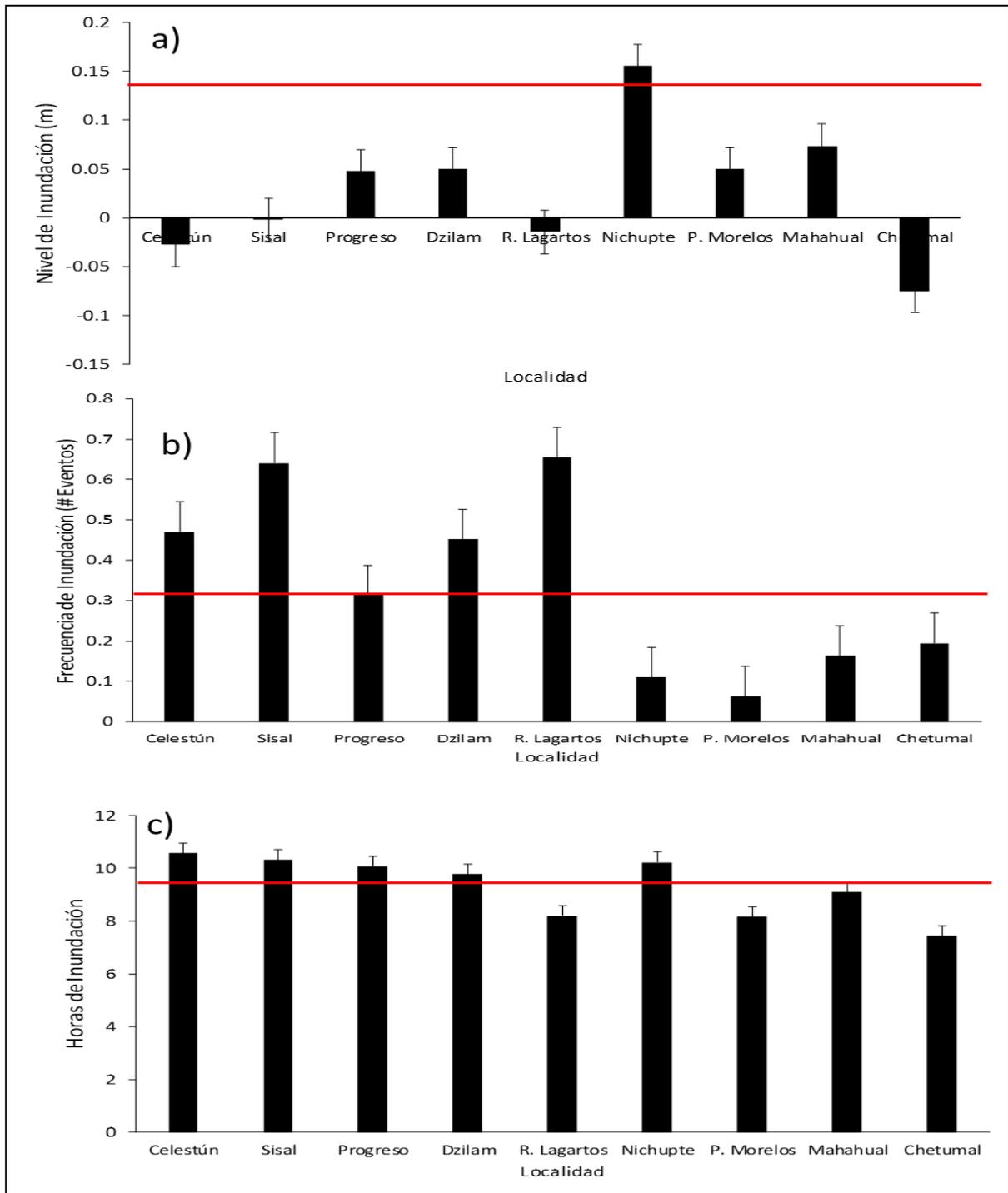


Figura 217. Características del hidropériodo promedio en los sitios de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

5. Ecología: Estructura y productividad

Área basal

El área basal promedio para todos los sitios de monitoreo de manglar de la Península de Yucatán es de $19.64 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Las localidades con AB más altas son Celestún y Nichupté ($33.3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $34.3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente). Mahahual registró el valor más bajo con $4.0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ debido a que son manglares del tipo ecológico chaparro, los cuales presentan una estructura diferente (Fig. 218).

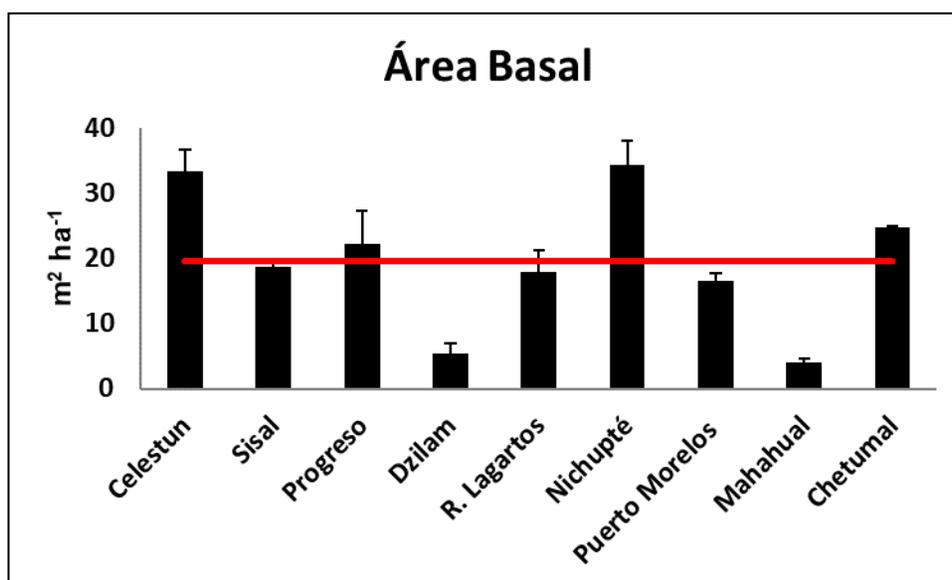


Figura 218. Área basal promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

Densidad

La densidad promedio de árboles en las localidades de monitoreo de manglar es de $3,259 \text{ ind. ha}^{-1}$. Nichupté presenta la densidad más alta ($5,629 \text{ ind. ha}^{-1}$), mientras que la menor se registró en Dzilam (788 ind. ha^{-1}) (Fig. 219).

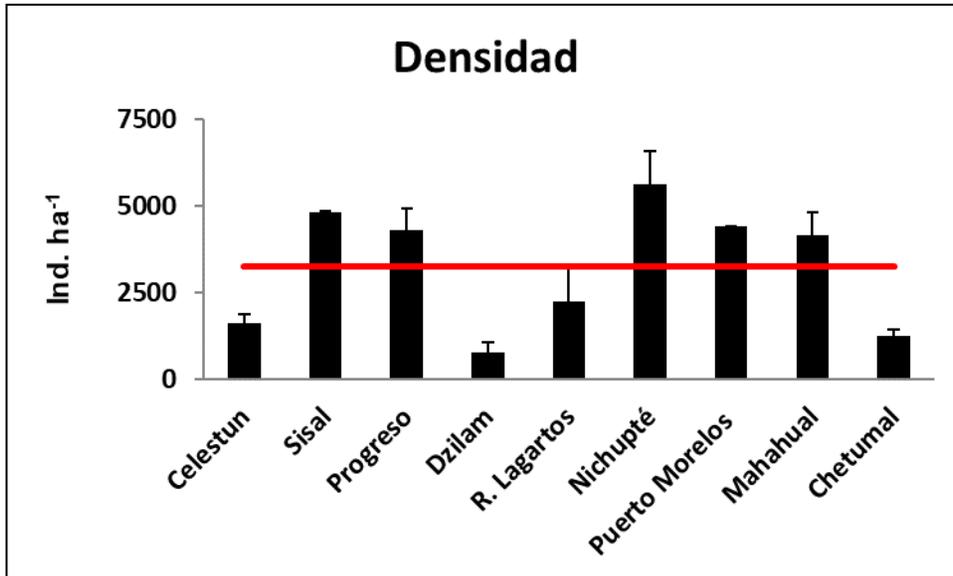


Figura 219. Densidad de árboles promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

Altura

La altura promedio de los manglares de la Península de Yucatán es de 5.73 m. Los árboles más altos se presentan en Celestún (9.14 m), influenciados en gran parte por la presencia de ojos de agua que disminuyen la salinidad, y en Chetumal (8.43 m) en la que el río Hondo tiene gran influencia en el desarrollo de los árboles. Mahahual presenta los manglares con menor altura (<2 m), característico de los manglares chaparros monoespecíficos de *Rhizophora mangle* (Fig. 220).

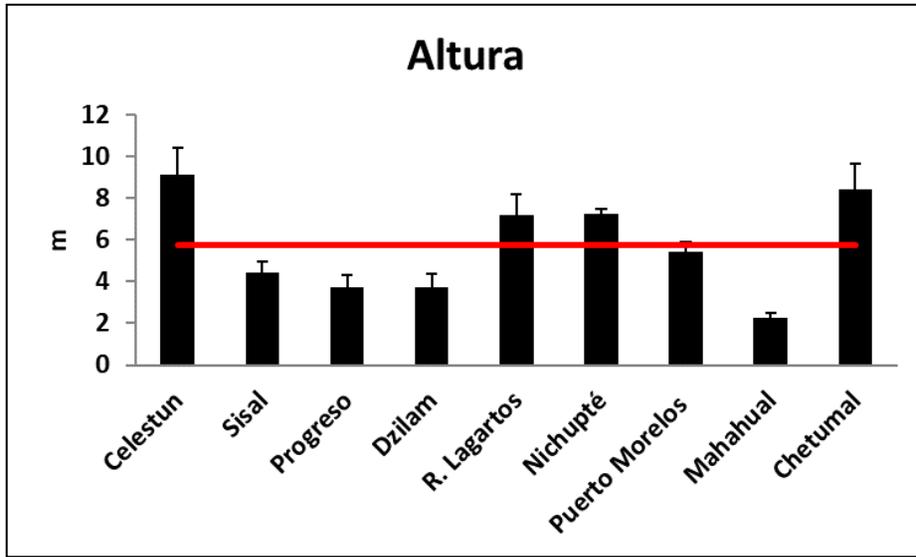


Figura 220. Altura de árboles promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

IC

El índice de complejidad promedio en los manglares de la Península de Yucatán es de 7.71, identificando un ecosistema más complejo en Nichupté (14.4) y uno con menor complejidad en Dzilam (1.5) (Fig. 221). La complejidad de un ecosistema está determinada por el número de especies presentes, sus abundancias y las interacciones entre ellas en tiempo y en espacio. Desde nuestra perspectiva este no es buen descriptor del ecosistema de manglar.

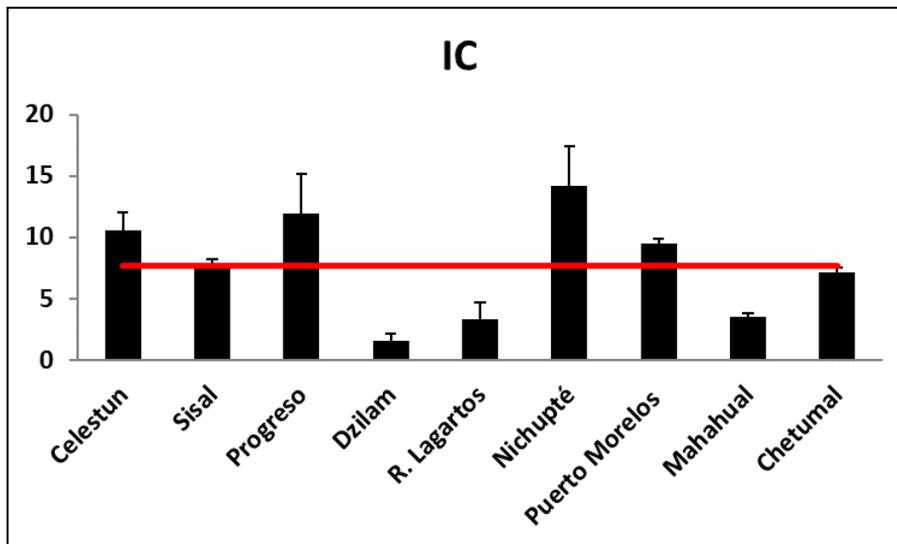


Figura 221. Índice de complejidad promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

IVI

El índice de valor de importancia promedio es de 33.9%. El más alto lo registró *Rhizophora mangle* (51.09%), la cual se presenta en todas las localidades de caracterización y monitoreo de manglar de la Península de Yucatán. Cancún y Mahahual presentan bosques monoespecíficos de *R. mangle*. En localidades como Celestún, Progreso, Dzilam y Puerto Morelos el valor de importancia de las tres especies de manglar es similar. Las características fisicoquímicas hacen que Sisal esté dominado por *Avicennia germinans* mientras que Chetumal presenta una combinación de especies de manglar con especies de selva (Fig. 222).

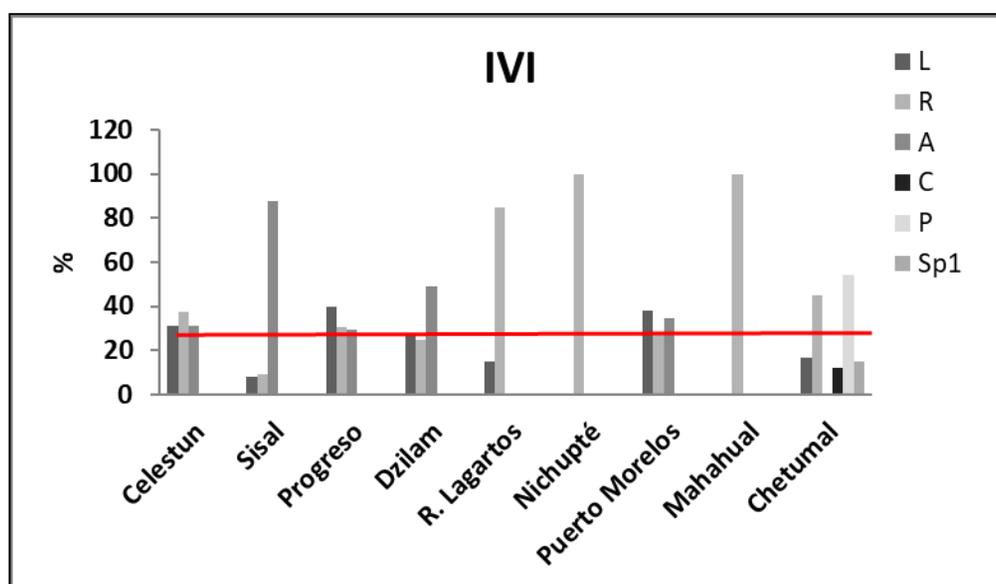


Figura 222. Índice de valor de importancia promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable. L = *Laguncularia racemosa*, R = *Rhizophora mangle*, A = *Avicennia germinans*, C = *Conocarpus erectus*, P = *Pachira aquatica*, Sp1 = Especie de selva no identificada.

Densidad de plántulas y juveniles

La densidad de plántulas promedio para las localidades de caracterización y monitoreo de manglares de la Península de Yucatán es de 101 ind. m⁻². En este sentido la localidad con mayor número de plántulas es Dzilam (545 ind. m⁻²). Esta característica confiere una ventaja con respecto a los otros sitios, ya que indica en principio que el bosque tiene alta capacidad de regeneración natural, sin embargo, se deben analizar las demás variables estructurales para conocer la dinámica de esa renovación. Por otra parte, las localidades de Río Lagartos y Nichupté podrían ser más vulnerables en ese aspecto ya que presentaron el menor número de plántulas (5 ind. m⁻²). Es importante mencionar que la presencia de plántulas en las localidades también puede estar influenciada por la temporalidad de los muestreos, ya que estos, como parte de la caracterización, fueron realizados en un solo momento y no se les dio el seguimiento de acuerdo con la fenología de las especies de manglar (Fig. 223).

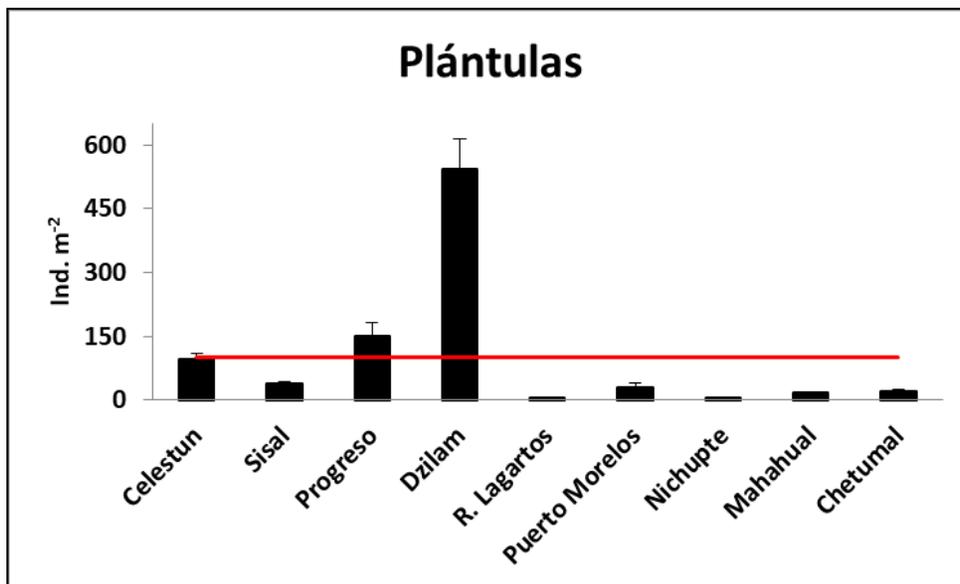


Figura 223. Densidad de plántulas promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

La densidad de juveniles promedio para los sitios de caracterización y monitoreo de manglar en la Península de Yucatán es de 103.7 ind ha⁻¹. Las localidades con valores más altos son Puerto Morelos y Chetumal (353 y 257 ind ha⁻¹, respectivamente). Si recordamos, estos sitios presentan una densidad de plántulas muy baja, sin embargo, esto da idea de la dinámica de renovación y crecimiento que tiene el bosque de manglar (Fig. 224). En el caso de Puerto Morelos, el nivel de impacto en los manglares de esta localidad es de los más altos, por lo que el bosque de manglar no está en condiciones de madurez estable. Para Chetumal, el impacto de eventos como huracanes podrían estar influyendo en estado de regeneración del bosque de manglar de esta localidad.

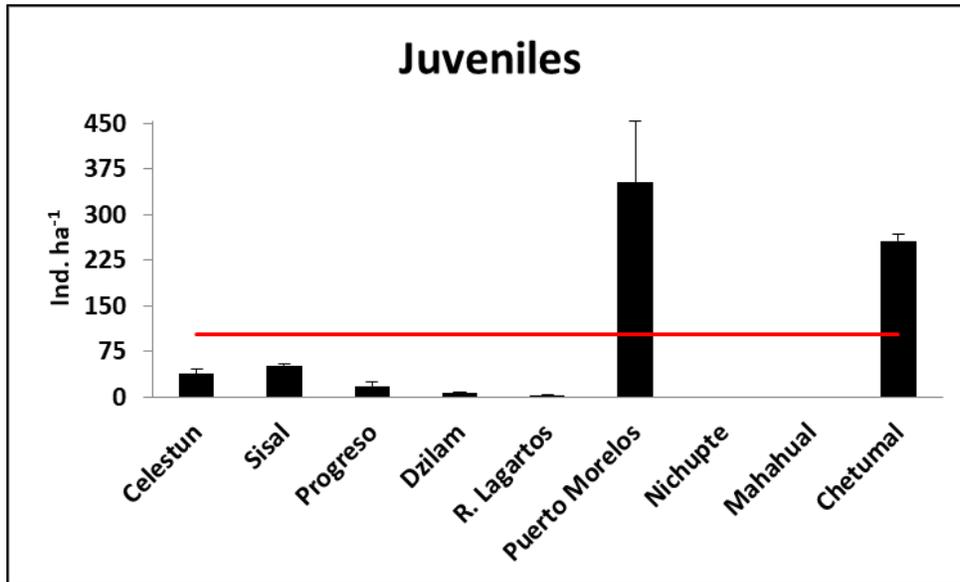


Figura 224. Densidad de juveniles promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

Productividad de hojarasca

Los valores promedio más altos de la productividad que se registraron en el periodo del proyecto (2015 a 2017) fueron las localidades de Chetumal (87.93 g.p.s m⁻² mes⁻¹), esto puede tener relación a la exposición de los sitios a los fenómenos climatológicos los cuales afectan directamente aumentando así la caída de hojarasca. La más baja productividad (23.88 g.p.s m⁻² mes⁻¹) se observó en Mahahual. La localidad de Sisal presentó un valor alto con 85.75 g.p.s m⁻² mes⁻¹. La productividad de Progreso y

Dzilam esta alrededor de los 78 g.p.s m⁻² mes⁻¹ mientras que los valores más bajos se observan en Río Lagartos, Nichupté y Puerto Morelos (44.62 g.p.s m⁻² mes⁻¹, 51.63 85.75 g.p.s m⁻² mes⁻¹ y 39.33 g.p.s m⁻² mes⁻¹). Dicha productividad puede estar asociada al desarrollo estructural de la vegetación en cada localidad (Fig. 225). Es de llamar la atención la marcada diferencia de la productividad de hojarasca entre los manglares de Quintana Roo y Yucatán (a excepción de Río Lagartos y Chetumal).

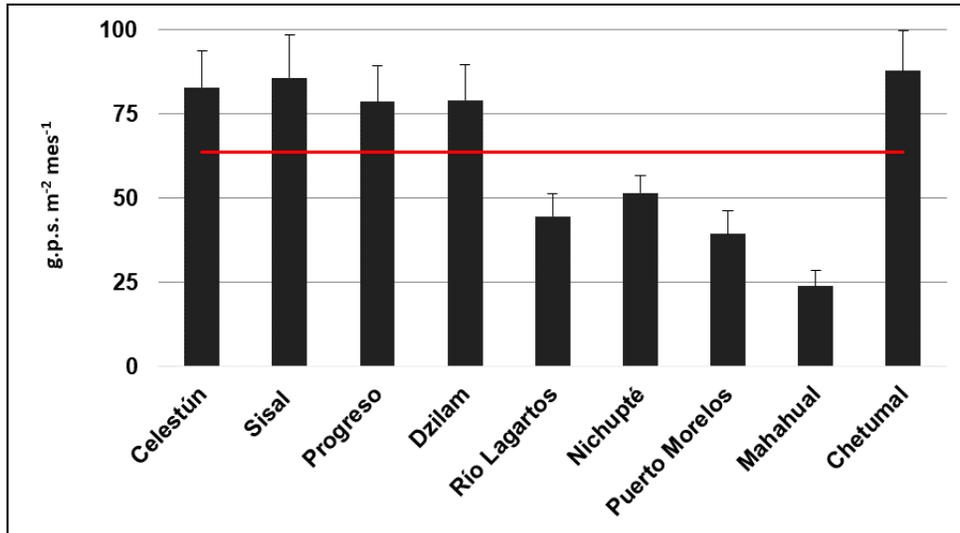


Figura 225. Productividad de hojarasca promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

Productividad de raíces

La productividad de raíces promedio por año en las localidades de caracterización y monitoreo de manglar en la Península de Yucatán es de 1,164 g m⁻² año⁻¹. Las localidades con los valores más altos son Celestún y Dzilam (1,672.7 g m⁻² año⁻¹ y 1,597.4 g m⁻² año⁻¹, respectivamente). Mahahual por su parte produce menos raíces que todos los demás sitios (556 g m⁻² año⁻¹). Estas diferencias están dadas por la estructura misma del ecosistema, las especies presentes y la abundancia de las mismas (Fig. 226).

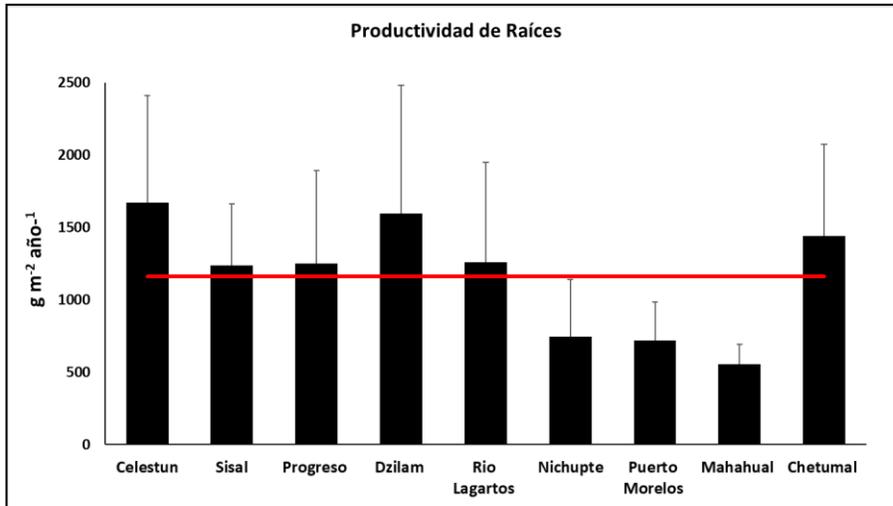


Figura 226. Productividad de raíces promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

Productividad de troncos

El incremento en la biomasa de troncos promedio para las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán es de 1.44 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Los sitios con un mayor incremento son Puerto Morelos (2.35 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y Celestún (2.1 Mg ha⁻¹ año⁻¹). La localidad con el incremento en troncos anual más bajo es Mahahual (0.85 Mg ha⁻¹ año⁻¹), esto nuevamente debido a las características del tipo ecológico de manglar que predomina (Fig. 227). En este sentido, mientras que Celestún es un bosque maduro bien conservado, Puerto Morelos esta sometido a condiciones de impacto

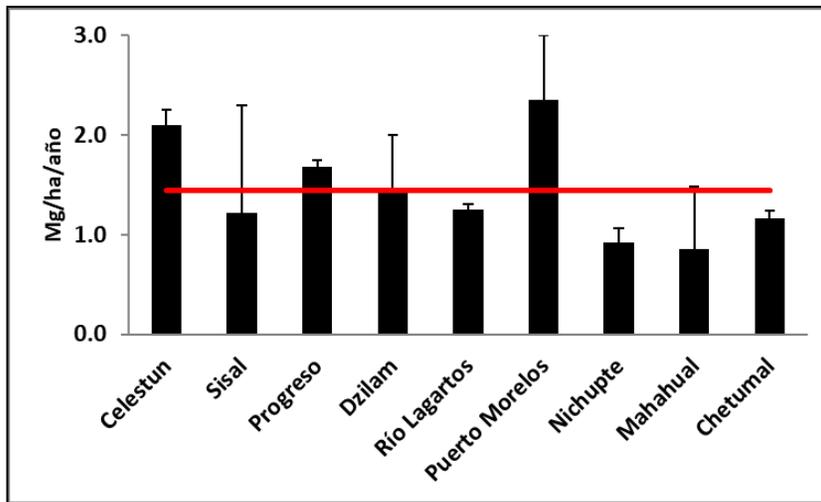


Figura 227. Productividad de troncos promedio en las localidades de monitoreo de manglar en la Península de Yucatán. La línea roja representa el promedio total de la variable.

XI. CONSIDERACIONES FINALES

Las variables fisicoquímicas abordadas en este proyecto responden a las características climáticas de la Península de Yucatán, entre las que predominan aquellas relacionadas con la hidrología de cada uno de los sitios estudiados. En este sentido, esta variable es la que regula la dinámica de las variables fisicoquímicas del agua, del sedimento e incluso tiene una fuerte relación con la estructura forestal.

En cuanto a las características de los sedimentos de los sitios evaluados, se observa el patrón en el que sedimentos menos densos tienen mayor contenido de materia orgánica, lo cual tiene que ver con el aporte interno y externo de material orgánico en cada uno de los sitios. Es necesario no solo conocer cómo se comportan los sistemas en un momento dado, sino también como fluyen los materiales y cómo es su dinámica a través del tiempo. Estudios y monitoreo de flujos es el siguiente paso en el entendimiento de los controladores de la estructura y dinámica de los manglares que permitan establecer mejores estrategias de manejo.

Como se había mencionado anteriormente, la estructura arbórea responde a las características del agua y del sedimento, sin embargo, esta misma estructura tiene la capacidad de retroalimentar esas características, manteniendo un equilibrio a menos que exista alguna perturbación externa ya sea natural o antropogénica. Este tipo de análisis y de la gran cantidad de información es objeto de otro proyecto.

La caracterización y monitoreo de los ecosistemas de manglar de la Península de Yucatán es una aproximación al estado que guarda cada localidad en un periodo de tiempo, sin embargo, la relevancia de los datos e información reducen su importancia a medida que el tiempo pasa, por lo que la continuidad del monitoreo es indispensable, de otra manera los datos e información de este informe por ejemplo a velocidad de cambio que se ha observado en los dos proyectos (FN009 y KN003) caducará en al menos 3 años en promedio para cada localidad. Además, el análisis de los datos e información deben ahora ser vinculados a los servicios ambientales de cada tipo, localidad y sitio de manglar analizado.

Con esto queremos dejar constancia que basado en el análisis de datos e información de los proyectos FN009 y KN003, se observa alta diversidad de ecosistemas de manglar no obstante su relativa baja riqueza de especies de árboles y arbustos de manglar propiamente. Como ecosistema esta alta diversidad se traduce en diferentes estructuras forestales con sus respectivos procesos y funciones específicas, que a su vez se traducen en diferentes tipos y magnitud de servicios ambientales, y respuestas a las perturbaciones naturales y antrópicas y por tanto con diferente nivel de resistencia y resiliencia. Por lo tanto, los diagnósticos y monitoreos son proyectos “hechos a la medida” de acuerdo con los objetivos y tipo de manglar. Sólo así se identificarán patrones que lleven a estrategias y políticas de manejo en los ecosistemas de manglar.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

Los avances correspondientes a las etapas de caracterización y monitoreo se ven representados por componentes en las siguientes tablas. En ellas se muestran en color verde las actividades completadas y en rojo las que, por alguna y otra razón, no fueron completadas en el desarrollo del proyecto. De manera general, la etapa de caracterización fue completada en el primer y tercer año del proyecto mientras que la etapa de monitoreo se ejecutó en tiempo y forma en la mayoría de los sitios.

En este sentido es importante mencionar que la caracterización final de los sitios de Puerto Morelos no pudo ser completada debido a que se realizó cambio de uso de suelo y, en la visita de muestreo, se encontraban con el acceso restringido (Anexo 1).

1. Caracterización

a) Componente Ecología

Para la fase de caracterización inicial (2015) se colectaron y procesaron todos los datos relacionados con la ecología del manglar cumpliendo con los objetivos fijados. Los resultados de cada variable para cada localidad fueron presentados en el segundo informe parcial (Tabla 5).

Tabla 5. Fase de caracterización inicial (2015). Componente Ecología (Avance 100%).

Localidad	Área basal (m ² /ha)	Altura (m)	Índice de Valor de Importancia (IVI)	Índice de Complejidad (IC)	Densidad árboles (ind/ha)	Densidad plántulas (ind/m ²)	Densidad juveniles (ind/ha)
Celestún							
Sisal							
Progreso							
Dzilam							
Río Lagartos							
Nichupté							
Puerto Morelos							
Mahahual							
Chetumal							

Para la fase de caracterización final (2017) se colectaron y procesaron todos los datos relacionados con la ecología del manglar de todos los sitios, excepto los de la localidad de Puerto Morelos por los motivos antes mencionados. Los resultados comparativos de cada variable para cada localidad son presentados en el apartado “Comparación entre caracterización inicial y final” en este informe final (Tabla 6).

Tabla 6. Fase de caracterización final (2017). Componente Ecología (Avance 90%).

Localidad	Área basal (m ² /ha)	Altura (m)	Índice de Valor de Importancia (IVI)	Índice de Complejidad (IC)	Densidad árboles (ind/ha)	Densidad plántulas (ind/m ²)	Densidad juveniles (ind/ha)
Celestún							
Sisal							
Progreso							
Dzilam							
Río Lagartos							
Nichupté							
Puerto Morelos							
Mahahual							
Chetumal							

b) Componente Hidrogeoquímica

Para la fase de caracterización inicial (2015) se colectaron y procesaron todos los datos relacionados con las características del agua y sedimento del manglar de los sitios ubicados en la PY, cumpliendo así con los objetivos fijados (Tabla 7). Los

resultados de la caracterización inicial de cada variable para cada localidad fueron descritos en el segundo informe.

Tabla 7. Fase de caracterización. Componente Hidrogeoquímica (Avance 100%).

Localidad	Salinidad intersticial (g/kg)	pH	Potencial Redox (mV)	Densidad aparente (g/cm ³)	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de N y P totales (%)
Celestún						
Sisal						
Progreso						
Dzilam						
Río Lagartos						
Nichupté						
Puerto Morelos						
Mahahual						
Chetumal						

Para la fase de caracterización final (2017) se colectaron y procesaron todos los datos relacionados con las características del agua y sedimento del manglar de los sitios en los que se tuvo acceso ubicados en la PY, cumpliendo así con los objetivos fijados (Tabla 8). Los resultados de la caracterización final de cada variable para cada localidad son descritos a manera de comparación en el apartado “Comparación entre caracterización inicial y final” en este informe.

Tabla 8. Fase de caracterización. Componente Hidrogeoquímica (Avance 90%).

Localidad	Salinidad intersticial (g/kg)	pH	Potencial Redox (mV)	Densidad aparente (g/cm ³)	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de N y P totales (%)
Celestún						
Sisal						
Progreso						
Dzilam						
Río Lagartos						
Nichupté						
Puerto Morelos						
Mahahual						
Chetumal						

2. Monitoreo

a) *Componente Ecología*

Para la fase de monitoreo, desde 2015 se instalaron los dispositivos para determinar la productividad de hojarasca y raíces finas, además de que se realizaron las mediciones iniciales para determinación de biomasa en troncos. Durante los tres años del proyecto se realizaron colectas mensuales de la producción de hojarasca. En 2015 se procesaron los núcleos para determinación de biomasa inicial de raíces finas, en 2016 y 2017 se colectaron los núcleos para determinar la producción de raíces en un año. Con las biomásas iniciales de los árboles marcados se han determinado los cambios a partir de las mediciones en consecutivos (2015-2016 y 2016-2017). Los resultados de estas variables se reportan en este informe con lo cual se cumple con lo comprometido (Tabla 9).

Tabla 9. Avances. Fase de Monitoreo. Componente Ecología (Completo).

Localidad	Productividad de Hojarasca	Productividad de Troncos	Productividad de Raíces
Celestún			
Sisal			
Progreso			
Dzilam			
Rio Lagartos			
Nichupté			
Puerto Morelos			
Mahahual			
Chetumal			

b) *Componente Hidrogeoquímica y Clima*

En el agua, la salinidad se monitoreó de manera mensual, mientras que para redox y pH se realizaron tres mediciones por año (una por temporada: nortes, secas y lluvias). En el informe actual se incluyen resultados de 2015, 2016 y 2017. Se colectaron y procesaron las muestras para determinación de las características del sedimento, variables de medición anual que se reportan de 2015, 2016 y 2017. En cuanto al monitoreo del hidroperiodo, en el informe actual se integran los resultados hasta 2017.

Dentro de la línea de monitoreo denominada Clima, se solicitaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio y se realizaron los climogramas por estado y las gráficas de temperatura y precipitación de los últimos 3 años por localidad que se presentan en este reporte. El avance general de este componente de hidrogeoquímica y clima con respecto a la totalidad de las actividades es completo, cumpliendo así con los compromisos adquiridos (Tabla 10).

Tabla 10. Fase de Monitoreo. Componente Hidrogeoquímica (Completo).

Localidad	Hidroperíodo (Nivel, Frecuencia y Duración)	Salinidad intersticial (g/kg)	pH	Potencial Redox (mV)	Densidad aparente del suelo (g/cm ³)	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de N y P totales (%)	Clima
Celestún								
Sisal								
Progreso								
Dzilam								
Rio Lagartos								
Nichupté								
Puerto Morelos								
Mahahual								
Chetumal								

INDICADORES DE ÉXITO

ACTIVIDAD	Semestre					
	1	2	3	4	5	6
Salidas de Campo medición en parcelas de 20 x 20 m	50%	100%				
Salidas de Campo colecta de hojarasca	10%	30%	50%	70%	90%	100%
Salidas de Campo colecta de datos de salinidad	10%	30%	50%	70%	90%	100%
Salidas de Campo colecta de datos de pH y Rx	12%	24%	48%	60%	72%	100%
Salidas de Campo colecta de muestras de sedimento	33%	33%	66%	66%	100%	100%
Obtención de datos meteorológicos históricos	0%	0%	50%	50%	50%	100%
Análisis de muestras hidrológicas	15%	30%	40%	50%	70%	100%
Análisis de muestras biológicas	10%	20%	35%	50%	80%	100%
Análisis de muestras de sedimentos	10%	15%	40%	50%	65%	100%
Análisis de datos hidrológicos	5%	25%	30%	45%	65%	100%
Análisis de datos biológicos	5%	15%	30%	45%	65%	100%
Análisis de datos de sedimentos	5%	10%	35%	45%	60%	100%
Informes Parciales (incluye memoria fotográfica)	20%	40%	60%	80%	100%	
Informe Final (incluye memoria fotográfica)						100%

XII. REFERENCIAS

- Adame, M. F., V. Hermoso, K. Perhans, C. E. Lovelock, y J. A. Herrera-Silveira. 2014. Selecting Cost- Effective Areas for Restoration of Ecosystem Services. *Conservation Biology*. 29, 493-502.
- Agraz-Hernández, C.M., F.J. Flores-Verdugo, y J. Ordoñez-Sulu. 2004. Dasometría de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en un ecosistema de manglar al sureste de la Reserva de la Biosfera “Los petenes”, Campeche. Campeche México. Informe técnico del proyecto: “Diagnostico ambiental de un ecosistema de manglar en la reserva de la Biosfera “Los petenes”. Campeche, Campeche. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche.
- Andrade, M. 1997. Análisis de amenazas de la Reserva Especial de la Biosfera Ría Lagartos en la Península de Yucatán, México. Pronatura Península de Yucatán, A.C. 29 pp.
- Batliori, E., J.L.Febles and J. Diaz. 1999. Lanscape change on Yucatan northwest coastal wetlands (1948-1991). *Human Ecology Review*. (6)1
- Caamal, S. J. P. 2012. Almacenes de Carbono en Diferentes tipos Ecológicos de Manglares en un escenario cárstico. Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Yucatán. 20 pp.
- Campos G. y R. Durán. 1991. La Vegetación de la Península de Yucatán. En: Colunga P., R. Orellana, N. Ayora, J. Arellano y G. Campos (Editores). Apuntes del Curso-Taller para maestros “El Jardín Botánico como herramienta didáctica”. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yuc. pp. 23-35
- Cano, A. R. G. 2013. Productividad Primaria en Hojarasca del Ecosistema de Manglar Ubicado en la Zona de Mahahual e Xcalak, Quintana Roo: Bases Ecológicas para su Manejo. Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales. Universidad de Quintana Roo. 88 pp.
- Carranza, J. y C. Molina. 2003. Estimación de la tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. CONANP/FMCN. México, D.F. 35 pp.
- Chen, R. and Twilley, R.R. 1999. Patterns of mangrove forest structure and soil nutrient dynamics along the Shark River estuary, Florida. *Estuaries*. 22(4):955-970.
- CONANP. 2007. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En: <http://www.conanp.gob.mx/> (consultado en julio de 2014).
- CONANP. 2015. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Programa de manejo 2015. Manglares de Nichupte. En: <http://www.conanp.gob.mx/> (consultado en abril 2015).

- Cottam, G. y J.T. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37, 451- 460.
- Dahdouh-Guebas, F. and Koedam N. 2008. Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches: A review. *Aquatic Botany*, 89 (2):80–92.
- Donato, D. C., Kauffman J. B., Kurnianto, S., Stidham, M., and Murdiyarso, D. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4 (2011), pp. 293–297.
- Euan-Ávila, J.I. and G.S. Witter. 2002. Promoting Integrated Coastal Management in the Yucatan Peninsula, México. *Journal of Policy Studies*, 12:1-16.
- Euan-Ávila, J.I., S. Salas, M. A. Cabrera, I. Donde, P. Arceo, J. Fraga, R. Olguín, M. A. Cuevas, J. Morales, A. Góngora, Ma. Á. Liceaga, J. A. Herrera-Silveira, M. A. Zaldívar, H. Hernández, C. Teutli, J. Ramírez, S. Morales, J. Trejo, I. Osorio, M. Aguayo, C. Pino, A. Maldonado, y J. Acosta. 2004. Evaluación de daños en las zonas costeras de la Península de Yucatán por el huracán "Isidoro", desarrollo de propuestas de investigación y mitigación en manejo integrado de recursos costeros. Informe Final CONACYT- Justo Sierra, Ref: 2002H602
- FAO. 2007a. Report of the Eighteenth Session of the Committee on Forestry, 13-16 de marzo de 2007, Roma, Italia. COFO-2007/REP. Rome, Italy.
- FAO. 2007b. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 – Directrices para la elaboración de informes nacionales destinados a FRA 2010. FAO Evaluación de los Recursos Forestales, Documento de trabajo 143. Roma, Italia.
- Frías-Bobadilla, R. 2006. Monografía histórica, geográfica, marítima y cultural del Puerto de Progreso de Castro, Yucatán. H. Ayuntamiento de Progreso. Factor Imprime. México.
- Hargis, T.G and R.R. Twilley. 1994. Improved coring device for measuring soil bulk density in a Louisiana deltaic marsh. *J. Sed. Res.* 64:1–3
- Hirales-Cota, M, J. Espinoza-Avalos, B. Schmook, A. Ruiz-Luna y R. Ramos-Reyes. 2010. Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias Marinas*, 36(2): 147–159.
- Herrera-Silveira, J.A Cortés-Balan O., Teutli Hernández, C., Carrillo Baeza, L., Pech Poot, E. López Herrera, M, Gamboa Cutz, J y Ku Farfán F. 2013. Calidad del Agua y Restauración Ecológica del Ecosistema de Manglar en Yucatán. *Informe Técnico Final. CINVESTAV-Administración Portuaria Integral de Progreso*, 65 pp.
- Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández. C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramírez-Ramírez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño, M. T., Torres, R. y H. Hernández-Aranda. 2014. Programa regional para la caracterización y

el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Península de Yucatán. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FN009. México D. F.

Holdridge, L.R., Grenke, W. C., Hathaway, W. H., Liang, T. and Tosi, J. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon press, New York.

INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática) 1995. Anuario Estadístico de Yucatán.

INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática) 2000. Censo de Población y vivienda.

INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática). 2002. Archivo histórico de localidades.

Likens G.E. (ed.).1989. Long-Term Studies in Ecology. Approaches and Alternatives. Springer-Verlag, New York, Inc.

Lesser, J.M. and A.E. Weidie.1988. Región 25, Yucatan Peninsula. The Geological Society of America, the Geology of North America.V. 0-2 Hidrogeology Chapter 28, pp 237-241.

Lindenmayer, D.B. and Likens G.E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 24 (9): 482–86.

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

Lugo, A. E., and S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 39-64.

Medina, G. I. y J.A. Herrera S., 2003. Spatial characterization of water quality in a karstic coastal lagoon without anthropogenic disturbance: a multivariate approach. (Caracterización espacial de la calidad de agua en una laguna costera karstica sin disturbio antropogénico: un acercamiento multivariable). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 58(3): 455-465.

NOAA. 2007. National Hurricane Center. Consultado: 9 de febrero del 2015. <http://www.nhc.noaa.gov>

Parsons, T. R., Maita, Y. and C. M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.

Ramírez-García, P., J. López-Blanco and D. Ocaña. 1998. Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management*. 105: 217-229.

- Rico-Gray, V. 1982. Estudios de la vegetación de la zona costera inundable de noreste de Campeche, México: Los petenes. *Biotica*. 7: 171-190.
- Rivera-Monroy, V., Twilley, R., Bone D., Childers D., Coronado-Molina C., Feller I., Herrera-silveira J., Mancera E., Rejmankova E., Salisbury J. and Weil E. 2002. Research and Management Objectives in the wider Caribbean Region. *Bioscience*. Vol: 54
- Rodríguez-Zúñiga, M.T. 2002. Manglares del sistema lagunar de Alvarado, Ver. México: Influencia de algunos procesos físicos, biológicos y antropogénicos, en su distribución y estructura. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) Facultad de Ciencias. Posgrado de Ciencias Biológicas. UNAM. México. D.F.104 p.
- Rosado-May F.J., Romero Mayo, R. y A. De Jesús Navarrete (Eds.). 2002. Contribuciones De La Ciencia Al Manejo Costero Integrado De La Bahía De Chetumal Y Su Área De Influencia. Universidad De Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, 400 p.
- Ruiz-Luna, A. and C.A. Berlanga-Robles. 1999 Modifications in coverage patterns and land use in the landscape around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, Mexico: A multitemporal analysis LANDSAT images. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*. 49: 37-44.
- Ruíz-Rentería, F., B.I. van Tussenbroek and E. Jordán-Dahlgren. 1998. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. In: Caribbean Coastal Marine Productivity (Caricomp): Coral reef, seagrass, and mangrove site characteristics. B. Kjerfve (ed.). UNESCO, Paris. 345 p.
- Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M.A. Harwell, R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger and J.G. Titus. 2002. Climate Change Impacts on U.S. Coastal and Marine Ecosystems. *Estuaries*. 25: 149-164.
- SEMARNAT-Gob. Quintana Roo. 2005. Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio Benito Juárez, Quintana Roo. Comité Técnico para la Formulación, Expedición y Ejecución del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Municipio Benito Juárez, Quintana Roo. 90 pp.
- Semeniuk, V. 1994. Predicting the effect of sea-level rise on mangroves in Northwestern Australia. *Journal of Coastal Research*. 10(4):1050–1076.
- Schaeffer-Novelli, y Cintrón, G. 1990. Métodos para la descripción y estudio de áreas de manglar. Ingeniería marítima, Ciencias del mar. Escuela superior Politécnica del Litoral. Puerto Rico.
- Smith III, T. J. 1992. Forest Structure. In A. I. Robertson and D. M. Alongi (eds.), Tropical mangrove ecosystems. American Geophysical Union, Washington D. C. 101-136 p.

- Snedaker, J. G. (Eds.) 1984. The mangrove ecosystem: Research methods. Monogr. Oceanogr. Methodol., 8. UNESCO, Paris and New York. 251 p.
- Teutli-Hernández, C. 2004. Estimación del éxito de la restauración hidrológica en zonas de manglar de la parte norte de Yucatán. Tesis Profesional. Cinvestav-BUAP.
- Teutli-Hernández, C. 2014. Una aproximación a la integración de escalas ecológicas para la restauración de ecosistemas de manglar. Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona, España, 3er avance.
- Twilley, R.R. 1988. Coupling of mangroves to the productivity of estuarine and coastal waters. In: Jansson, B.O. (ed.), Coastal-Offshore Ecosystem Interactions. 155-180 p. Springer-Verlag, Berlin.
- Twilley R.R. 1995. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. Maximun power (eds.) University of Colorado press. Boulder. Colorado. C.Hall. 43-62 pp.
- Twilley, R.R. 1998. Mangrove wetlands. In: Messina, M.G. and Conner, W.H. Southern Forested Wetlands, Ecology and Management. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 445-473 pp.
- Twilley, R. R., A. L. Lugo and C. Patterson-Zucca. 1986. Litter production and turnover in basin mangrove forest in Southwest Florida. *Ecology*. 67(3): 670-683.
- Twilley, R.R., R. Chen, and V.H. Rivera-Monroy. 1999. Formulating a succession model of mangrove wetlands in the Caribbean and Gulf of Mexico with emphasis on factors associated with global climate change. *Current Topics in Wetland Biogeochemistry*. 3: 118-141.
- Twilley, R.R. and V.H. Rivera-Monroy. 2005. Developing Performance Measures of Mangrove Wetlands Using Simulation Models of Hydrology, Nutrient Biogeochemistry and Community dynamics. *Journal of Coastal Research*. 40: 79-93.
- Twilley, R.R., Rivera- Monroy, R.H. and Castañeda, E. 2004. Total Phosphorus Procedure (Dry Digestion) And Ashing Technique (For Soil And Plant Material). LSU Wetland Biogeochemistry Institute.
- Valderrama, L., Troche, C., Rodríguez, M. T., Márquez, D., Vázquez, B., Velázquez, S., Vázquez, A., Cruz, M. I., and Ressler, R., 2014. Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 period. *Wetlands*. 34:747-758
- Vázquez-Lule, A. D.; G. Ríos-Saís y M. F. Adame. Caracterización del sitio de manglar Dzilam, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

- Woodroffe, C. D. 1992. Mangrove sediments and geomorphology. p. 7-41. In: Robertson A.I. and D. M. Alongi (Eds.). Tropical mangrove ecosystems. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Zaldívar-Jiménez, A., Herrera-Silveira, J.A., Coronado, M. C., y Alonso, P.D. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, Yucatán (SE. México). *Maderas y Bosques*, 2:25-35.
- Zaldívar-Jiménez, M.A., J.A. Herrera-Silveira, C. Teutli-Hernández, F.A. Comín, J.L. Andrade, C. Coronado-Molina and R. Pérez-Ceballos. 2010. Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula. *Ecological Restoration*. 28(3): 333-342.

XIII. ANEXO 1

La fase de caracterización final (2017) no pudo ser completada en los sitios correspondientes a la localidad de Puerto Morelos, debido a que en la visita para la realización de estas actividades el acceso a los sitios se encontraba restringido. El sitio La Ceiba se encontró cercado por malla ciclónica, además se ubicaban camiones desaguando junto a las parcelas de estudio (Fotos A y B). Por otro lado, en el sitio El Cid el acceso se encontraba restringido por una cerca de malla y plástico negro que impedía la visibilidad hacia los trabajos de relleno realizados en el sitio (Fotos C, D y E).



FOTO A. Acceso restringido por malla ciclónica en el sitio de estudio La Ceiba en la localidad de Puerto Morelos.



FOTO B. Actividades de desagüe en el acceso al sitio de estudio La Ceiba en la localidad de Puerto Morelos.



FOTO C. Cerca que cubre el relleno de manglares en el sitio de estudio El Cid en la localidad de Puerto Morelos.



FOTO D. Cerca y acceso restringido en el sitio de estudio El Cid en la localidad de Puerto Morelos.



FOTO E. Relleno de manglares en el sitio de estudio El Cid en la localidad de Puerto Morelos.