

Informe final* del Proyecto KN002

Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Inicio de una red multi-institucional. Veracruz. Segunda etapa*

Responsable:	Dr. Jorge Alejandro López Portillo Guzmán
Institución:	Instituto de Ecología A.C. Departamento de Ecología Funcional
Dirección:	Carretera antigua a Coatepec # 351, El Haya, Xalapa, Ver, 91070 , México
Correo electrónico:	jorge.lopez.portillo@inecol.edu.mx
Teléfono/Fax:	Tel. (228) 8421802, Fax (228) 8421823
Fecha de inicio:	Abril 15, 2013.
Fecha de término:	Junio 16, 2020
Principales resultados:	Hojas de cálculo, fotografías , informe final.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Lara-Domínguez, A.L., J. Herrera-Silveira, C.M. Agraz-Hernández, y J.A. López-Portillo. 2020. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional. Informe Integrado SNIB-CONABIO, Síntesis de los Proyectos KN001_Campeche, KN002_Veracruz y KN003_Península de Yucatán. Ciudad de México.

Resumen:

En estados como Veracruz, las actividades productivas y el desarrollo económico están íntimamente relacionados con la costa. El turismo, la pesca, acuacultura, desarrollo industrial, desarrollo urbano y transporte marítimo, que destacan como impulsoras de su economía, dependen de forma directa o indirecta de los ecosistemas costeros, entre ellos el manglar. Los manglares representan la vegetación costera dominante en las regiones tropicales y subtropicales. Las tendencias actuales en el estudio de los manglares están dirigidas a las relaciones estructurales y funcionales en diferentes escalas espaciales y temporales, destacando su conectividad con otros sistemas, la biogeoquímica de los sedimentos, su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar, y el potencial de reclutamiento natural e inducido ante impactos antrópicos y eventos naturales. De aquí la relevancia de ampliar la realización de este proyecto: para continuar evaluando apropiadamente la línea de base de los manglares de Veracruz. Se propone continuar con las actividades de monitoreo de las parcelas de manglar localizadas a lo largo de la zona costera del estado de Veracruz. El proyecto se enmarcará en una estrategia de escalas temporales y espaciales amplias para llevar a cabo una comparación de los cambios estructurales y funcionales de los manglares en respuesta el grado de conservación o deterioro por impactos antrópicos y naturales. Esta estrategia permitirá definir y establecer variables críticas del diagnóstico, así como la evaluar los manglares en diferentes regiones del estado de Veracruz con miras a contar finalmente con modelos predictivos para una mejor comprensión acerca del funcionamiento de estos ecosistemas.

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



Informe Técnico Integrado

Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional.

Proyectos Campeche KN001, Veracruz KN002 y Península de Yucatán KN003

Síntesis realizada por Ana Laura Lara-Domínguez y Jorge López-Portillo

Febrero 2020

Contenido

TITULO	3
Resumen.....	3
Introducción	3
Objetivos	5
Objetivo General:	5
Objetivos Particulares:	5
Zona de Estudio	6
Escenario ambiental	6
Metodología	11
1. Recursos del suelo:	11
2. Reguladores del suelo:	13
3. Ecología: Área basal, densidad, altura, IC, IVI, densidad de plántulas y juveniles	14
Discusión	17
1. Recursos del suelo:	18
2. Reguladores del suelo:	21
3. Estructura	24
4. Ecología	27
Referencias	33

TITULO

Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional.

Resumen

Con los resultados obtenidos entre 2014 y 2018 por los proyectos KN001, KN002 y KN003 (Campeche, Veracruz y Yucatán – Quintana Roo, respectivamente) se analizaron 46 sitios de estudio a lo largo del Golfo de México y Mar Caribe. En general, no se observa una tendencia latitudinal del porcentaje de fósforo total ya que los valores menores se registran en Veracruz y los mayores en Campeche. Los valores de nitrógeno total más altos se observan en los sitios de Quintana Roo, mientras que en las localidades de Veracruz, Campeche y Yucatán los valores son similares entre sí y menores al uno por ciento. El rango de salinidad en el agua intersticial varió de 5.5 en la localidad de Chetumal (sitio Río Hondo) en Quintana Roo y el máximo valor se registró en la localidad de Progreso en Yucatán (68.65). No obstante, las fluctuaciones de sus valores son muy similares con medianas de Veracruz de 24.8, Campeche de 32.5, Yucatán 40.3 y Quintana Roo de 20.3. En general, los suelos de los manglares en las localidades monitoreadas presentan escasez de oxígeno y son reducidos ya que todos registran valores por debajo de cero. En las localidades del estado de Campeche, se observan los valores más negativos del potencial redox en relación con los otros estados. En general, se observa que la altura máxima registrada corresponde al estado de Veracruz, en el sitio de Cacahuatate (24.5 m) y en Costa Norte (23.2 m) ambas en la localidad de Sontecomapan, y que la mínima está en Mahahual, Quintana Roo.

Introducción

Los manglares constituyen una frágil membrana de intercambio entre los ecosistemas terrestres y marinos que se desarrollan a lo largo de un gradiente ambiental (Twilley y Rivera Monroy 2009 y López-Portillo et al. 2011, entre otros). Estos ecosistemas están fuertemente amenazados por el desarrollo de actividades en la zona costera como son las ganaderas, agrícolas, industriales y turísticas entre otras. Por lo que es necesario establecer una línea base, así como un programa de seguimiento de los cambios de la vegetación a través del tiempo. Los resultados obtenidos en los programas de monitoreo de manglares en diferentes estados y localidades sirven para evaluar el grado de conservación y detectar las amenazas que en cada uno se presentan.

En 2007, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) abrió una convocatoria para presentar programas de monitoreo de la estructura de la

comunidad de manglar y su caracterización ambiental en México. Estos proyectos deberían definir indicadores ambientales (físicos, químicos, biológicos, hidrológicos, geológicos, relacionados con cambio climático) y, en lo posible, indicadores económicos y sociales que brindaran información confiable sobre la estructura, dinámica y funcionamiento del ecosistema para detectar cambios en los mismos. La idea es que la información generada aporte elementos para el entendimiento de este ecosistema y que sea útil para establecer bases sólidas para su manejo, conservación y restauración. Esta información se complementa con el componente espacial a cargo de la CONABIO y que se genera a partir del análisis de insumos de percepción remota como imágenes de satélite.

El monitoreo ambiental no sólo involucra inversión de recursos económicos; además, requiere constancia, una conceptualización muy clara de qué monitorear y cómo hacerlo, y una capacidad analítica para interpretar los resultados obtenidos (Maass et al. 2010). Además, juega un papel central en el manejo de los recursos naturales porque los sistemas manejados son dinámicos, variables y con un componente de incertidumbre respecto a cómo responderán a acciones concretas (Lyons et al. 2008). Los estudios en los ecosistemas de manglar de este informe integral abarcan los litorales de los estados de Veracruz (745 km) Campeche (325 km), Yucatán (340 km) y Quintana Roo (1176 km) que constituye más del 80% del litoral del Golfo de México, abarcando 3.6° de latitud y 9.5° de longitud.

Dentro de los resultados del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM) obtenidos por la Conabio en 2015, se detectó a través del análisis de las imágenes de satélite que tanto Veracruz como Campeche están incrementando sus áreas de manglar perturbado y que ocupan el segundo y cuarto lugar a nivel nacional, siendo puntos de atención para conservar las áreas de manglar (Valderrama et al. 2015).

Objetivos

Los objetivos de la citada convocatoria de 2007 fueron:

1. Apoyar proyectos de monitoreo a largo plazo en manglares de México, que cuenten con información antecedente y que aporten bases sólidas para un mejor conocimiento de este ecosistema.
2. Impulsar la formación de la RMMM, para que constituya una herramienta importante en la toma de decisiones de las autoridades e instituciones correspondientes en lo que respecta a la conservación, manejo y restauración ecológica de los manglares del país.

A partir de esa convocatoria, fueron apoyados los proyectos FN007 para Veracruz, FN009 para la Península de Yucatán (Yucatán y Quintana Roo), y FN010 para Campeche, en donde los objetivos generales y particulares fueron los siguientes:

Objetivo General:

Establecer sitios de monitoreo de manglar que cumplan con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y que sirvan para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas, así como contribuir a sentar las bases de una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano.

Objetivos Particulares:

- Caracterizar los tipos de manglar y sus coberturas en los estados de Veracruz y Campeche (incluyendo el área natural protegida Laguna de Términos) y en la Península de Yucatán usando como atributos sus características estructurales y las variables ambientales reguladoras.
- Identificar las características estructurales de la vegetación y las características ambientales que sirvan de línea de base y soporte para un programa de monitoreo.
- Dar continuidad y ampliar el programa de monitoreo de la estructura de la vegetación de manglar, Repoblación potencial, productividad de raíces, productividad de hojarasca y vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar de los ecosistemas de manglar.

Posteriormente, una vez concluidos los proyectos en esta primera etapa, CONABIO invitó a los responsables de los proyectos a continuar con una segunda etapa de monitoreo. En esta nueva etapa, el objetivo general de los proyectos, ahora identificados como KN001 para Campeche, KN002 para Veracruz y KN003 para la Península de Yucatán, fue continuar con el monitoreo de los sitios de manglar ya seleccionadas, pero que cumplieran con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y con los criterios de la CONABIO para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas, contribuyendo a consolidar una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano.

Zona de Estudio

Escenario ambiental

Geomorfología

De acuerdo con el origen del sedimento, el proceso costero dominante y la geoforma inicial, pueden distinguirse dos grupos contrastantes: uno terrígeno (alóctono) principalmente presente en Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y parte de Campeche, y el otro carbonatado (autóctono) en lo que resta de Campeche y en Yucatán y Quintana Roo. Las geoformas recurrentes en los sustratos terrígenos son estuarinos. Por ejemplo, el Río Pantepec o Tuxpan, Tecolutla, y el Sistema Lagunar de Alvarado. Sin embargo, la mayoría de las localidades bajo estudio están asociados a las lagunas costeras de Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, El Llano, La Mancha, Mandinga (Grande y Chica), Sontecomapan y Ostión (López-Portillo et al. 2011). Los ambientes terrígenos en Campeche están en el delta del Rio Usumacinta (del que forma parte la laguna de Términos) alimentado por los ríos San Pedro y San Pablo, Palizada y Candelaria. En el sistema carbonatado o cárstico predominan los mantos subterráneos y los suelos son

menos profundos que en el resto del Golfo de México, pero cuenta con grandes sistemas lagunares como Celestún, Progreso y Ría Lagartos, entre otros.

Clima

En general en las localidades en **Veracruz** se identifican básicamente en dos clasificaciones climáticas: Tropical con lluvias en verano (La Mancha, Mandinga, Alvarado) y Ecuatorial húmedo para el resto de las localidades. La precipitación se incrementa hacia el sur del gradiente, y es particularmente elevada en las lagunas de Sontecomapan (375 mm/mes) y El Ostión (201 mm/mes).

En **Campeche** se observó un desplazamiento en la precipitación, puesto que durante el año 2014 para el mes de mayo se registró alta precipitación pluvial, caso contrario para los años 2015 y 2016 cuando mayo se caracterizó por escasas lluvias. Por otra parte, las mayores precipitaciones durante los tres años de estudio se registran en Isla Aguada y las menores hacia la parte norte del estado (Los Petenes).

Para los sitios de la **Península de Yucatán** la precipitación acumulada promedio 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. 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).

Gradiente latitudinal-longitudinal

En el gradiente latitudinal-longitudinal en donde se llevaron a cabo los Proyectos del Golfo de México hay tres provincias fisiográficas: el estado de Veracruz abarca la Llanura Costera del Golfo Norte, la porción oriental del Eje Neovolcánico que forma la Sierra de Manuel Díaz y la Llanura Costera del Golfo Sur. En esta región desembocan algunos de los ríos más caudalosos de México, como el Grijalva, el Usumacinta, el Coatzacoalcos y el Papaloapan, así como otros de menor caudal, pero de respuesta rápida como los Ríos Tecolutla y

Nautla. La sierra de los Tuxtlas, de origen volcánico, interrumpe el paisaje de esta provincia sobre la costa (González Medrano 2004).

La provincia fisiográfica de la Región Peninsular Yucateca está en la subprovincia de la Llanura Kárstica y subdivisión de Zona de Costa. No hay vías superficiales y el agua, al filtrarse en este ambiente calcáreo, forma un manto freático de poca profundidad compuesto por grutas, corrientes subterráneas, cenotes y aguadas características del litoral de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Los ecosistemas de manglar con mayor superficie de manglar en el **estado de Veracruz** responden a planicies fluviales muy amplias que permiten la formación de lagunas internas con elevada incorporación de agua dulce, proveniente de los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, y al mismo tiempo se encuentran protegidas por los cordones de dunas costeras. Los ecosistemas que se encuentran sin esta protección y con planicies de inundación reducida, tienen su área de distribución restringida a las corrientes de agua y pequeñas bocas intermitentes por lo que presentan áreas muy pequeñas. Es importante destacar que de las 8 localidades estudiadas, 7 se encuentran asociadas a una laguna costera, éstas son: Tamiahua (sitios Pueblo Viejo y Tamiahua), Tampamachoco (sitios Tampamachoco y Tumilco), La Mancha (un sitio del mismo nombre), El Llano (un sitio del mismo nombre), Mandinga (sitios Mandinga Grande y Mandinga Chica), Alvarado (sitios Laguna Baja, Boca de Júpiter, Laguna Socorro), Sontecomapan (sitios Cacahuatate y Costa Norte) y Ostión (sitios Huazuntlán y Metzapan). Mientras que una de las localidades está asociada a deltas del río Tecolutla (sitios Tecolutla y Nautla Tabla 1).

El **estado de Campeche** se localiza al sureste de la República Mexicana y forma parte de los estados que comprenden el Golfo de México. Este cuenta con alrededor de 523.3 km de litoral y una superficie estuarina de 196,000 ha (De la Lanza Espino y Cáceres Martínez, 1994). Los estados de Tabasco y Campeche concentran la mayor extensión de humedales costeros de México, considerados como la unidad ecológica costera más importante de Mesoamérica por su productividad natural y biodiversidad (Toledo Ocampo, 2007). El

estado de Campeche representa el 25% de la cobertura de manglar a nivel nacional (el segundo más importante), con una extensión total de 198, 853 ha (Valderrama et al. 2017). Los manglares en este litoral se concentran en el Área Natural Protegida Laguna de Términos (sitios Atasta, Estero Pargo, Xibujá e Isla Aguada), en localidad Champotón y sitio del mismo nombre, y en la Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP; sitios Río Verde y Petén Neyac, Tabla 1).

En la Península de Yucatán (PY), el área geográfica de caracterización y monitoreo en los **estados de Yucatán y Quintana Roo** abarca desde Celestún (que incluye la zona norte del estado de Campeche), hasta Bahía de Chetumal (Quintana Roo). En la región de la Península de Yucatán se localiza más del 50% de la cobertura de manglar a nivel nacional (Valderrama et al. 2017).

Los manglares estudiados en estos **estados** se ubican en las localidades de La Reserva de la Biosfera Ría Celestún (RBRC sitios interno, puente y boca, por su ubicación en un gradiente de salinidad); Puerto de Sisal localizado en el Municipio de Hunucmá (sitios Pecis I con descarga y Pecis II sin impacto de antiguas descargas de agua provenientes de la acuacultura); Puerto de Progreso (sitios Contenedores, Chelem I y Chelem II, con alto, medio y bajo nivel de impacto antrópico e hidrológico, respectivamente); Dzilam (sitios El Petén y Pueblo, con impacto de huracán e influencia urbana, respectivamente); La Reserva de la Biosfera Ría Lagartos (RBRL sitios El Cuyo y Ría Lagartos, con y sin influencia de actividades humanas, respectivamente); Nichupté localizado al norte del estado de Quintana Roo, en el municipio de Benito Juárez, a 36 km de Cancún (sitios Polígono 9 y Polígono 1, zona de recuperación y zona de manglar chaparro, respectivamente); y Puerto Morelos (sitios El CID dominado por *Conocarpus erectus* y la Ceiba, dominado por *Rhizophora mangle*). Mahahual sitios 1, 2, 3 y 4 que son manglares de tipo chaparro sujetos a impacto por huracanes y a impacto humano intermedio como construcción de carreteras, y en Chetumal los sitios Río Hondo y Tamalcab, ambas dominadas por *Rhizophora mangle*. En Yucatán y Quintana Roo hay 22 sitios de estudio, aunque una está en Campeche (Tabla 1).

Tabla 1. Número de identificación y nombre de los sitios de estudio en Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo que están en la Figura 1. Se indica también una coordenada de referencia (latitud y longitud), para cada sitio. Las coordenadas exactas para las parcelas monitoreadas pueden ser consultadas en las tablas de resultados de cada proyecto.

Estado	Sitio	Nombre	Latitud	Longitud
V e r a c r u z	1	Laguna de Pueblo Viejo	22.091939	-97.860878
	2	Laguna de Tamiahua	21.412242	-97.470908
	3	Tumilco	20.915458	-97.324694
	4	Laguna de Tampamachoc	21.009233	-97.342111
	5	Estero Tecolutla	20.460778	-97.000194
	6	Estero Nautla	20.283167	-96.876111
	7	El Llano	19.655250	-96.410556
	8	La Mancha	19.565119	-96.387528
	9	Mandinga Chica	19.052811	-96.080661
	10	Mandinga Grande	19.035000	-96.077194
	11	Laguna Baja	18.669147	-95.755731
	12	Boca de Júpiter	18.749111	-95.785389
	13	Laguna Socorro	18.653061	-95.721703
	14	Cacahuate	18.529611	-95.006528
	15	Costa Norte	18.535472	-95.031083
	16	Huazuntlan	18.178500	-94.638172
	17	Metzapa	18.200694	-94.643694
C a m p e c h e	18	Laguna de Pom Atasta	18.651726	-91.758521
	19	Estero Pargo	18.557768	-92.009056
	20	Xibujá	18.749694	-91.235798
	21	Isla Aguada-Sabancuy	18.948004	-91.220432
	22	Champton	19.363572	-90.696487
	23	Río Verde	19.908809	-90.477936
	24	Petén Neyac	20.332540	-90.488310
Y u c a t á n	25	Celestún interna	20.918966	-90.340366
	26	Celestún puente	20.859524	-90.374975
	27	Celestún boca	20.774610	-90.406475
	28	Sisal.Pecis 1	21.168850	-90.008222
	29	Sisal.Pecis 2	21.174140	-89.991940
	30	Progreso Contenedores	21.275154	-89.663933
	31	Progreso Chelem 2	21.257453	-89.708630
	32	Progreso Chelem 3	21.246661	-89.761117
	33	Dzilam El Peten	21.401402	-88.826109
	34	Dzilam Pueblo	21.391277	-88.889108
	35	El Cuyo	21.609530	-88.127684
	36	Río Lagartos	21.511722	-87.677760
Q u i n t a n a R o o	37	Nichupté Polígono 9	21.077622	-86.788966
	38	Nichupté Polígono 1	21.033140	-86.837151
	39	Puerto Morelos El CID	20.863949	-86.870884
	40	Puerto Morelos La Ceiba	20.841594	-86.884270
	41	Mahahual 1	18.785776	-87.747830
	42	Mahahual 2	18.784944	-87.749056
	43	Mahahual 3	18.969944	-87.930417
	44	Mahahual 4	18.970736	-87.930381
	45	Chetumal Hondo	18.489250	-88.314610
	46	Chetumal Tamalcab	18.564611	-88.227639

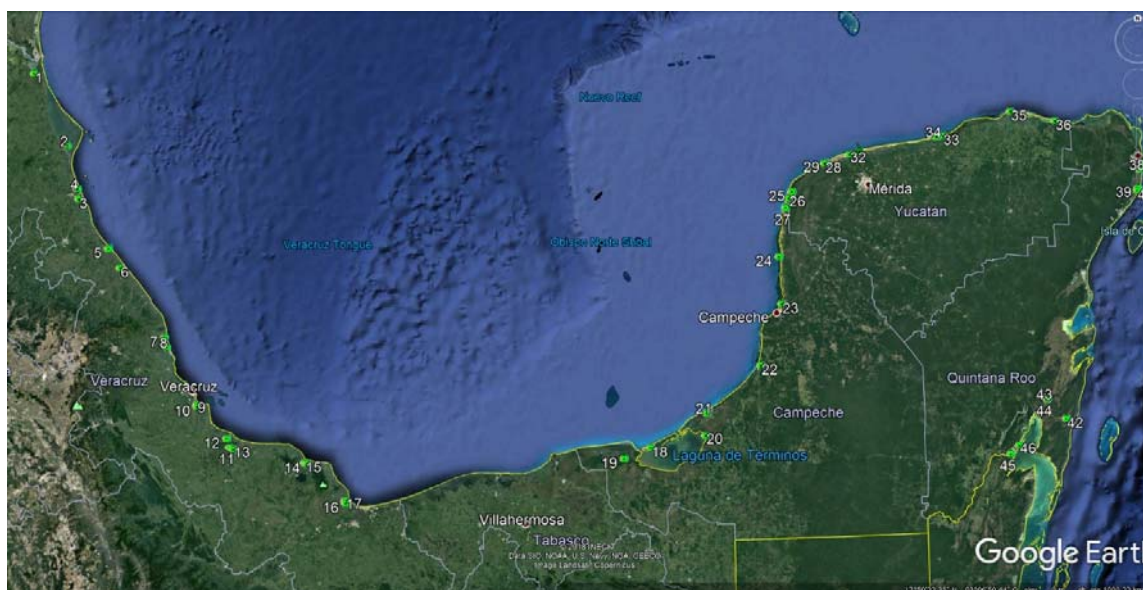


Figura 1. Distribución geográfica de los sitios numerados de noroeste a sureste para la caracterización y monitoreo de manglares a lo largo del Golfo de México en los estados de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Se establecieron 17 sitios en el estado de Veracruz, 7 en Campeche, 12 en Yucatán y 10 en Quintana Roo (Tabla 1). Las coordenadas exactas para las parcelas monitoreadas pueden ser consultadas en las tablas de resultados de cada proyecto.

Metodología

Se establecieron sitios donde se realizaron los estudios de largo plazo sobre la estructura y composición de cada manglar característico en el estado. La aproximación espacial a lo largo del gradiente latitudinal permite aprovechar la heterogeneidad geográfica y geomorfológica de los ecosistemas para contar con un amplio espectro de condiciones hidrológicas, ecológicas y de uso. La caracterización parte de la comparación de variables dentro y entre sitios de acuerdo con escenarios ambientales similares.

1. Recursos del suelo:

Densidad Aparente. Se colectaron muestras de sedimentos en cada sitio mediante el uso de tubos de PVC sanitario reforzado de 4 pulgadas de diámetro y 40 cm de largo que se introdujeron en los suelos de estudio hasta 30 cm de profundidad usando un mazo de goma de 4 libras de peso. Cada muestra se pesó por separado y se puso a secar durante 72 horas a 60° C en estufa de aire. Una vez secada cada submuestra fue pesada por separado en una balanza analítica.

Del total de los pesos secos la densidad aparente se calculó como:

Densidad aparente (g/cm^3) = peso seco de la submuestra (g)/ volumen de la submuestra (cm^3)

Con los resultados obtenidos de cada submuestra se pudo obtener el valor promedio de la densidad aparente para cada sustrato.

Materia orgánica. 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 ≈ 150 g de peso seco de las muestras de sedimentos se molió y homogeneizó 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 fue anual.

Fósforo Total (PT): Para la determinación de fósforo total en Veracruz y Yucatán se siguió el método propuesto por Twilley et al. (2004), que consiste en la solubilización de la muestra por digestión con $\text{NHO}_3/\text{HClO}_4$ y luego su análisis como fosfato por la cuantificación por método de vanadofosfomolibdico de forma colorimétrica (Parsons et al. 1984). Esta medición fue anual.

En Campeche el Fósforo total se determinó según los criterios de Craft et al. (1991), Bray-1.

pH: La determinación se realizó mediante el método electrométrico en muestras de suelo en una solución de agua pura. La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H^+ mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H^+ . En el caso de los suelos el pH se midió con un potenciómetro en la

suspensión sobrenadante de una mezcla en una relación suelo: agua 1:2. En Campeche, se determinó tanto el potencial redox y como el pH en el suelo mediante un multiparamétrico IQ150.

2. Reguladores del suelo:

En la primera etapa del proyecto, se instalaron 4 piezómetros hechos con tubos de PVC de 3 pulgadas de diámetro, dos a 0.5 m y dos a 1.2 m asociados a la parcela de 10 m x 10 m, de estos se obtuvieron muestras de agua subsuperficiales (nivel freático). En la segunda etapa, se instalaron tres piezómetros de 3 pulgadas de diámetro y 3 metros de largo con ranuras de 3 mm transversales cada 5 cm desde la base inferior hasta 20 cm por debajo del nivel del suelo. Esta metodología permite describir la estratificación del manto freático.

Para Veracruz, tanto en la fase de caracterización como de monitoreo del agua intersticial, se midió el nivel del agua dentro del piezómetro y se colectó agua tanto de la superficie (10 cm debajo del nivel freático o la tabla de agua) como del fondo (5 cm antes de llegar al fondo del tubo). En el agua colectada se midió **salinidad, temperatura, pH y potencial redox** con un equipo multiparamétrico (Ultrameter II modelo 6P; Myron L Company, Carlsbad, California, EUA). Así mismo, se colectaron y midieron los mismos parámetros en el agua de inundación cuando ésta estaba disponible, así como a nivel de las raíces a través de una flecha de fibra de vidrio adaptada para la extracción directa del agua intersticial, aproximadamente a 15 cm de profundidad. Durante el monitoreo, estas mediciones mensuales coincidieron con la colecta de hojarasca.

En Campeche, previamente a la toma de datos *in situ*, se purgó el pozo mediante un sifón de agua con el fin de obtener muestras de agua no alteradas por la exposición al aire. Las mediciones mensuales de la salinidad, pH y potencial redox del agua intersticial se efectuaron en forma simultánea a la colecta de hojarasca. El valor de pH y potencial redox se midieron con una sonda multiparamétrica marca HACH modelo HQ11d con electrodos modelo pH101 para el pH y temperatura (grados centígrados), y un modelo MTC101 para el potencial redox (mV). Simultáneamente, se determinó la salinidad con un

refractómetro A&O, con intervalos de medición de 0 a 100 UPS. Además, se midieron los parámetros del agua intersticial a nivel de las raíces (≈ 30 cm de profundidad).

En los sitios de Yucatán y Quintana Roo, la salinidad del agua intersticial a 30 cm de profundidad se midió mensualmente. De manera estacional (tres veces por año: secas, lluvias y nortes) se determinó 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.

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

En la primera etapa del proyecto (2009 – 2012) los tres proyectos acordaron que el programa de monitoreo para individuos adultos fuera a través de parcelas de 0.01 ha (10m x 10m). Para la segunda etapa (2013 a 2016) se redimensionaron las parcelas establecidas en la primera etapa a un tamaño de 0.04 ha (20 m x 20 m), en acuerdo con la Subcoordinación de Percepción Remota (SPR) de la Dirección General de Geomática de la CONABIO, con el objetivo de poder establecer una relación entre la estructura de la vegetación y las características espectrales del manglar en las imágenes de satélite. Además, para la caracterización de plántulas de manglar, se establecieron 4 parcelas de 1x1m ubicada en cada uno de los vértices de la parcela de 10x10m y para la caracterización de juveniles, se consideraron todos los individuos presentes en la parcela de 10x10m o bien en subparcelas de 5m x 5m (Figs. 2 y 3).

En **Veracruz**, de abril de 2009 a mayo de 2011 (Primera etapa del Proyecto), se establecieron 58 parcelas de 10 x 10 m, 27 en manglar de borde y 31 en manglar interno, de acuerdo con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo en 16 sitios (Tabla1). Para la segunda etapa (2013 a 2016), además de los 16 sitios ya existentes, se agregó uno más, haciendo un total 17 sitios y 33 parcelas (no hubo parcela de borde en El Llano) de 20 x 20 m en donde las parcelas de 10 x 10 m están incluidas (Figura 2). Además, se mantuvieron las réplicas de 10m x 10m.

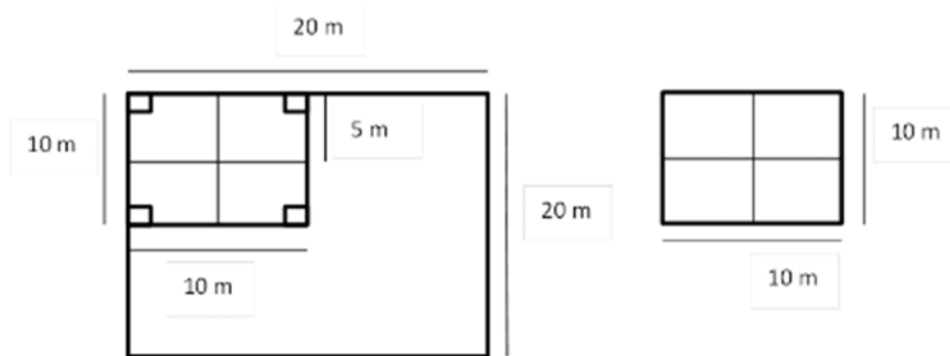


Figura 2. Diseño de parcelas de 20 m x 20 m que constituye la unidad de muestreo se realizó la caracterización de la estructura de la vegetación al inicio y otra al final del proyecto. Dentro de esta, se incluye a la parcela de 10 m x 10 m que se implementó en la primera etapa y donde se han monitoreado adultos, juveniles (parcela de 5x5 m) y plántulas (parcela de 1x1 m). La segunda parcela de 10 m x 10 m a la derecha es una repetición de la que está inserta en la parcela de 20 m x 20 m.

En **Campeche** se establecieron 7 sitios de estudio con presencia de manglar de franja e interno; dónde se implementaron parcelas de 20 x 20 m que contenían la parcela de 10 x 10 m donde se trabajó durante la primera etapa del proyecto (Figura 2). Este diseño se aplicó a los siete sitios estudiados (Tabla 1, Figura 1)

En **Yucatán y Quintana Roo** 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 (Figura 3). Este diseño fue aplicado para cada localidad (22 sitios en total; 12 en Yucatán y 10 en Quintana Roo), dando un total de 44 parcelas (22 controles y 22 réplicas; Tabla 1, Figura 1). En el caso de la localidad de Mahahual, las parcelas son nuevas porque sustituyen a las de Sian Ka'an y Xcalac.

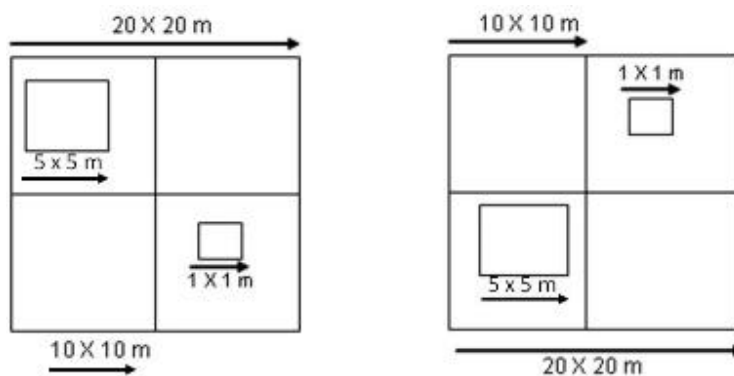


Figura 3. Forma y distribución de las parcelas ampliadas.

Descripción de variables:

- Diámetro a la altura de pecho o diámetro normal (DN): a partir de esta medida se calcula el área basal, que permite determinar la condición o estabilidad de la comunidad del manglar, por medio de la distribución de frecuencias de los diámetros de sus troncos o mejor conocido como un análisis de cohorte. Para la obtención de esa medida se utilizó una cinta métrica para medir el perímetro de todos los individuos mayores a 8.0 cm de perímetro, y se procedió al cálculo del diámetro que se emplea en diferentes ecuaciones propuestas por Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984) y Agraz et al. (2006).

- 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, en metros cuadrados (m^2) o por hectárea (ha), para los árboles mayores o iguales a 8 cm de circunferencia o 2.5 cm de diámetro. Esta medida es un excelente índice del grado de desarrollo adquirido por una comunidad de manglar, ya que está relacionado con el volumen de los troncos y la biomasa de la comunidad. Con los coeficientes estimados por Day et al. (1987) se estimó la biomasa aportada por los troncos tomando en consideración el diámetro a la altura del pecho tomando en consideración las mediciones realizadas en 2013 y 2016.

- Densidad: es el número de árboles por unidad de área, se expresa en individuos por hectárea ($ind\ ha^{-1}$). La densidad de una comunidad de manglar es el reflejo de su edad y madurez. Los manglares pasan en su desarrollo de una etapa en que el espacio es ocupado por un gran número de árboles de poco diámetro, a la etapa de mayor madurez cuando existen pocos árboles, pero de gran tamaño. También podría ser indicador de vulnerabilidad y capacidad de respuesta ante impactos.

- 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, la 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) desarrollado por Curtis y McIntosh (1951) y aplicado por Pool et al. (1977), Cox (1981), Cintrón y Schaeffer-Novelli (1983) y Corella et al. (2001): es la suma de los valores relativos de frecuencia, densidad y dominancia en cada cuadrante de muestreo.

- Frecuencia de tallas: Para representar la distribución de diámetros de la comunidad del manglar durante el tercer año, se utilizó un histograma de frecuencias, determinándose los intervalos de clase mediante la regla de Sturges (1926).

Formula de Sturges: $K = 1 + 3.322 (\log N)$

Determinar la amplitud de la clase: $C = R / K$

dónde: $R = \text{Rango} = (\text{valor mayor} - \text{valor menor})$ y $N = \text{Número de individuos}$

- Repoblación potencial: en las parcelas de 10 m x 10 m, se denominaron plántulas a aquellos organismos de manglar que presenten 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, en cada parcela de 10 m x 10 m, se establecieron 4 parcelas de 1 m x 1 m ubicadas en cada esquina. Mientras que para los juveniles se establecieron parcelas de 5 m x 5 m, dividiendo en 4 la parcela de estudio de organismos adultos (Figuras 2 y 3).

Discusión

En total, a lo largo del Golfo de México se establecieron 46 sitios (17 en Veracruz, 7 en Campeche, 12 en Yucatán y 10 en Quintana Roo). Tomando la información de los informes finales de los Proyectos KN001, KN002 y KN003 los resultados discutidos en este informe integrados se tomó el promedio general por sitio (tomando parcelas de franja o borde y cuenca o interna) con el propósito de discutir las tendencias en un gradiente latitudinal, así como en los tres tipos de provincias fisiográficas donde se ubican las áreas de estudio. La información en detalle para cada estado y sitio se puede consultar en los informes

finales de cada proyecto (Agraz Hernández et al. 2017, López Portillo et al. 2018, Herrera-Silveira et al. 2017).

La discusión se basa en los datos que están en los informes de Campeche, Yucatán y Quintana Roo ya sea incluidos en el texto, en las gráficas o en las tablas, a excepción de Veracruz que corresponde a la base de datos entregada a CONABIO.

1. Recursos del suelo:

La densidad aparente del suelo en los manglares distribuidos en el Golfo de México se registra en un rango entre 0.155 a 0.853 g cm⁻³ ambos en la Península de Yucatán siendo el primero en Quintana Roo (Puerto Morelos El Cid) y el segundo en Yucatán (Sisal Pecis I). Sin embargo, es importante notar que en Veracruz en general registra el valor promedio más alto y en Quintana Roo el menor. Ambos registran la menor variación entre los sitios estudiados en relación con las otras localidades (Figura 4). Los valores de densidad aparente altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua. Además, la densidad aparente es la más importante de las densidades del suelo porque puede ser indicadora de deterioro físico en él y porque es la que se usa para hacer los cálculos que involucran su peso. Esto se refleja en los resultados del contenido de materia orgánica observándose una relación inversa con la densidad presentando los valores bajos en los sitios de Veracruz (promedio 13.1 %) y altos en Campeche (48.2 %) y Quintana Roo (44.6 %). 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 (Herrera Silveira et al. 2017).

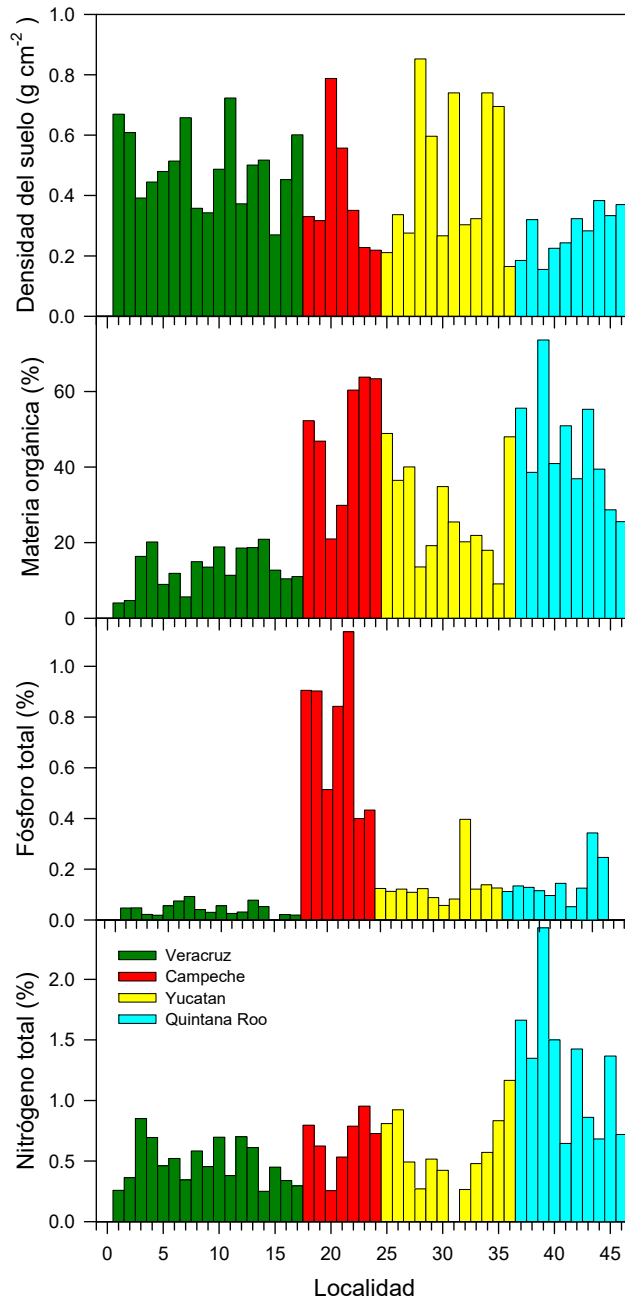


Figura 4. Materia orgánica, fósforo y nitrógeno total promedio (calculado sobre geoformas y parcelas en cada sitio) en el suelo de los sitios de estudio en Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Ver Tabla 1 para las referencias numéricas del sitio.

No se observa una tendencia latitudinal porcentaje de fósforo total solo los menores se registran en Veracruz y los mayores en Campeche en relación con los otros estados del Golfo de México. En Veracruz, los valores para este elemento se incrementan en la

segunda caracterización, siendo el manglar interno el que registra los valores más altos en los sitios ubicados en la parte central del litoral del Estado de Veracruz como son Tecolutla, Nautla, El Llano, Laguna Socorro y Cacahuate y en el borde Mandinga Grande y Tamiahua en el norte.

En el estado de **Campeche**, se observó que en los 7 sitios de estudio los sedimentos son ricos en porcentaje de fósforo total con valores mayores a 0.6%. Los bosques ubicados en Champotón, Estero Pargo Sabancuy y Atasta registraron el mayor porcentaje. Agraz et al. (2015) señala que el fósforo es un nutriente de origen alóctono al manglar. Además, las mayores concentraciones de fósforo total en los sitios de Campeche se encuentran en los horizontes superiores (Agraz et al. 2017).

En **Yucatán** el mayor porcentaje de fósforo total se registró en las localidades de Dzilam particularmente en el sitio Petén y en Ría Lagartos con los valores menores en el sitio de Progreso (Figura 4). Por último, en **Quintana Roo** los valores altos en el porcentaje de fósforo total se registraron en Chetumal (sitios Hondo y Tamalcab). No hay una tendencia latitudinal en las concentraciones de fósforo a lo largo del estado de Quintana Roo.

Los valores más altos en porcentaje de nitrógeno total (Nt) se observan en los sitios ubicados en Quintana Roo y los sitios en Veracruz, Campeche y Yucatán tienen porcentajes de Nt menores a uno por ciento. En **Veracruz**, los valores más altos se observan en Tumilco y Tampamachoco, en Campeche en la RBLP en Río Verde, en Yucatán en Río Lagartos y en Quintana Roo en Puerto Morelos (CID; Figura 4). No obstante que estos valores son relativamente altos, debe considerarse su relación con el fósforo para determinar si este recurso pudiera ser limitante en algún sitio y su relación con su origen geológico. En **Veracruz**, se observa que en los manglares internos el Nt tiende a ser más bajo que en los manglares de borde (López-Portillo et al. 2018). En **Campeche** los valores más altos de Nt se registran en los sitios asociados a las descargas de río (Agraz et al. 2015). En el sitio de Río Lagartos en **Yucatán** la alta concentración de Nt puede ser consecuencia de la acumulación de materia orgánica que se descompone *in situ* (Herrera Silveira et al. 2017). Finalmente, en **Quintana Roo**, la concentración alta de nitrógeno en

sedimentos podría ser consecuencia del impacto antrópico más que de procesos naturales de acumulación-exportación (Herrera Silveira et al. 2017).

2. Reguladores del suelo:

El ámbito de valores salinidad en el agua intersticial en todos las localidades varió de 5.5 en Río Hondo (Quintana Roo), a 61.8 en Chelem 1 (localidad de Progreso en Yucatán). No obstante, las fluctuaciones en salinidad son muy similares entre estados con medianas de 24.8 en Veracruz, 32.5 en Campeche, 40.3 en Yucatán 40.3 y 20.3 en Quintana Roo (Figura 5).

En **Veracruz**, los manglares en el norte del estado son más salinos que en el sur donde los manglares están asociados a grandes planicies deltaicas como es el Sistema Lagunar de Alvarado (Mandinga Chica, Mandinga Grande, Laguna Baja, Boca de Júpiter y Laguna Socorro) o en áreas con altas precipitaciones (Cacahuate y Costa Norte en la laguna de Sontecomapan). En el norte los sitios de Tecolutla y Nautla están asociados al Río Nautla y los pantanos de Ciénega del Fuerte, respectivamente, ambos con aporte de agua dulce (Figura 1, Tabla 1). Las localidades en el norte con salinidades altas son Tamiahua, Tampamachoco y El Llano. En general, tanto en el manglar de borde como en el interno a lo largo del estado, hay más salinidad en el agua intersticial a 120 cm de profundidad.

En **Campeche** al igual que en **Yucatán** se registraron los valores más altos de salinidad. Los valores bajos en **Campeche** se registraron en Atasta y Estero Pargo (Figura1) en respuesta a los aportes constantes agua dulce proveniente de los ríos Palizada y Usumacinta, que están asociados a la Laguna de Términos (Agraz et al. 2017). Sin embargo, en Xibujá y Sabancuy también asociados a esta laguna, los valores promedio de salinidad de cada sitio son altos. Esta tendencia general es consecuencia de las diferencias entre sitios respecto al aporte del agua dulce (ríos) y marina (mareas), y a la intensidad y dirección de los vientos por época del año (“nortes” y “surestes”) que explican la circulación del sistema lagunar y/o frente marino. A su vez la tendencia general es definida por los ciclos meteorológicos anuales y el tipo de presión antrópica que se efectuó por sitio (Agraz et al. 2017). En el estero de Sabancuy, se genera mayor evaporación del agua como

consecuencia de la fragmentación por la carretera 180 Matamoros Puerto Juárez. Los bosques de mangle en el río Champotón registraron tendencias mesohalinas.

En los sitios en **Yucatán** se registraron los promedios de salinidad más altos observándose los menores en Río Lagartos y los más altos en Progreso. Para Río Lagartos y El Cuyo se registraron salinidades bajas con respecto a las otras localidades, por lo que probablemente se localizan en zonas de abundantes descargas de agua dulce del acuífero (Herrera Silveira et al. 2017). Por último, en Chelem I (Progreso) la alta salinidad registrada probablemente influye en la estructura de la vegetación (Herrera Silveira et al. 2017).

En la localidad de Puerto Morelos, **Quintana Roo** (El Cid y La Ceiba), las salinidades son bajas en comparación con otros sitios caracterizados en el estado, lo que también sucede en la localidad el Mahahual donde las salinidades también son bajas probablemente como consecuencia del aporte de agua dulce (Herrera Silveira et al. 2017). En la localidad de Nichupté (Polígonos 1 y 9) la salinidad promedio es ligeramente mayor que en las otras localidades del estado de Quintana Roo, lo que probablemente sea porque el recambio de agua con la laguna costera es constante (Herrera Silveira et al. 2017).

El potencial redox y el pH son parámetros que fluctúan en función de la frecuencia y tiempo de inundación. Mayores tiempos de inundación provocan condiciones anóxicas y con ello valores más negativos de Redox. Además, estas variables son indicativas del proceso de descomposición de materia orgánica, así como es el almacenamiento de carbono orgánico. En general, los suelos de los manglares en los sitios monitoreados son reducidos y tienen poco oxígeno, con valores entre -18 y -458 mV (Figura 5). En los sitios del estado de Campeche el potencial redox es más negativo si se compara con los otros estados (Figura 5).

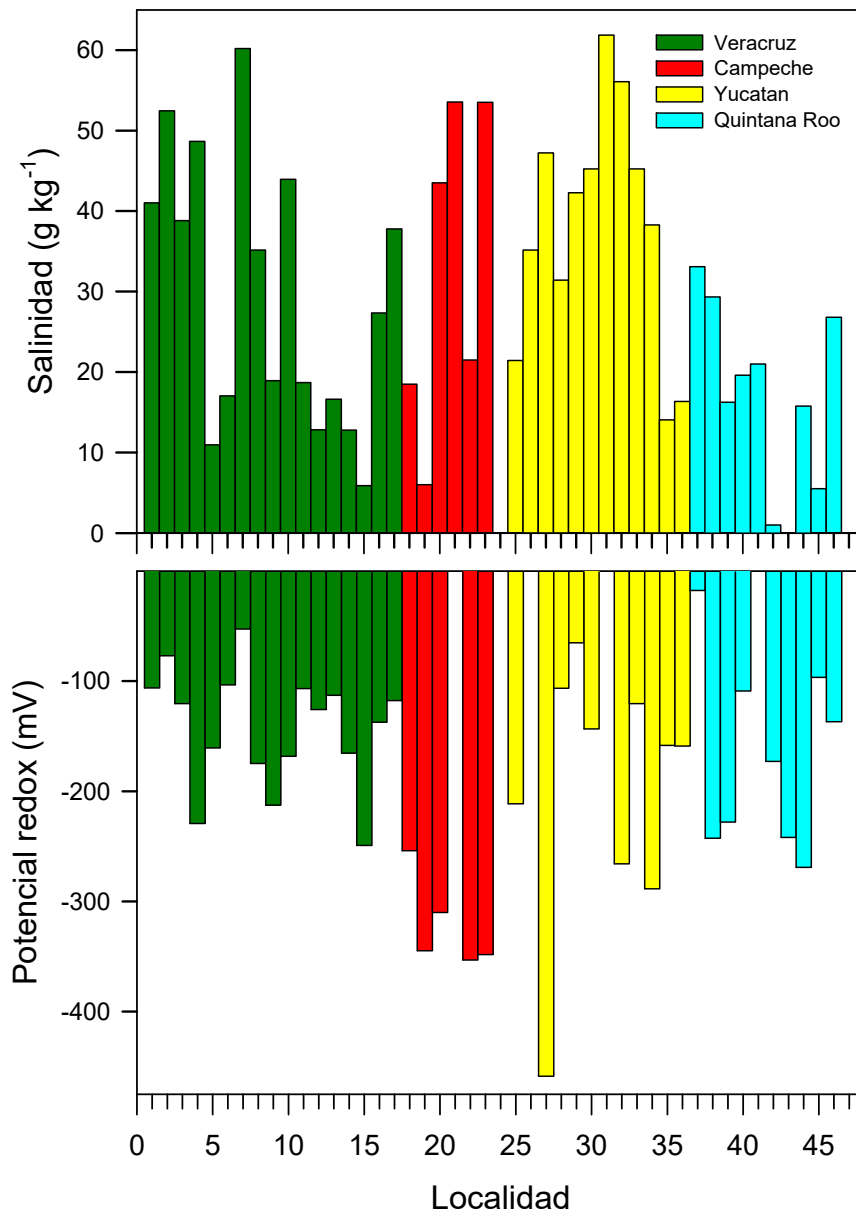


Figura 5. Variación del promedio de los reguladores del suelo en el suelo de los sitios de estudio en Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Ver Tabla 1 para las referencias numéricas de los sitios.

En **Veracruz**, los valores de potencial redox van de -252 mV en Costa Norte a -51 mV en el Llano y no hay tendencia de cambio latitudinal entre sitios (Figura 5). Los valores menos negativos se registraron en Tamiahua (-71 mV), Pueblo Viejo (-91 mV), laguna del Ostión

(Metzapan, -92 mV) y Alvarado (Laguna Baja -99 mV). Los manglares de borde de La Mancha (al norte), Mandinga y Sontecomapan (al sur) tienen suelos orgánicos y reducidos (López-Portillo et al. 2018).

En **Campeche** hay suelos hipóxicos con valores más negativos en Champotón (-353 mV) Río Verde (-348 mV) y menos negativos en Atasta (-254 mV; Figura 5). Los valores indican condiciones de anóxicas a hipóxicas-anóxicas desde Atasta hacia Petén Neyac (Agraz et al. 2017).

En **Yucatán**, el sitio de Celestún registró el valor más negativo (-486 mV) y probablemente con la menor concentración de oxígeno disuelto en el agua intersticial. Mientras que en la localidad de Sisal en el sitio Pecis II se registró el valor más bajo (-65.2 mV) de potencial redox de todos los sitios estudiados. Los valores de pH tienen un máximo de 7.9 en Boca de Celestún y un mínimo de 6.9 en Contenedores en la localidad de Progreso (Figura 5).

En **Quintana Roo** se registró el valor menos negativo en los manglares asociados a la Laguna de Nichupté (Polígono 9) y el más negativo en Mahahual sitio 4. Los valores de pH por arriba del 7 se registraron en Puerto Morelos y Chetumal y por debajo del 7 en Nichupté y Mahahual 3 (Figura 5).

3. Estructura

Para la estructura del manglar en cada sitio se discuten la altura máxima, área basal y densidad registrados en cada sitio estudiado a lo largo del Golfo de México. Con estos atributos se establecieron diferentes tipos fisonómicos de manglar en respuesta a la heterogeneidad ambiental en el Golfo de México y mar caribe

En general, se observa que la altura máxima registrada corresponde al estado de Veracruz, en el sitio de Cacahuate (24.5 m) y en Costa Norte (23.2 m) ambas en Sontecomapan. Mientras que la altura menor se ubica en la Península de Yucatán en el estado de Quintana Roo en Mahahual (Figura 6).

Para Veracruz, se observa una tendencia a registrar valores de altura máxima promedio que se incrementan de norte a sur (Figura 6). Mientras que en los sitios ubicados en

Campeche, Yucatán y Quintana Roo son pocos los datos reportados sobre la altura máxima registrada en cada sitio (Agraz et al. 2017; Herrera Silveira et al. 2017).

Agraz et al. (2015) observa un incremento en los atributos forestales de norte a sur del Estado y con disminución de estos a lo largo de los perfiles de vegetación (de la Reserva de la Biosfera Los Petenes hacia el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos). En Atasta se registraron árboles de hasta 15 m de altura, pero en el perfil de mar a tierra aumentó la densidad y disminuyó el área basal y la altura en los manglares internos (Figura 6).

Para la Península de Yucatán la altura promedio es de 5.73 m, con los árboles más altos en Celestún (9.14 m), y en Chetumal (8.43 m). Mientras en Mahahual presenta los manglares con menor altura (<2 m), característico de los manglares chaparros monoespecíficos de *Rhizophora mangle*. Este mismo tipo de manglar chaparro es característico de Dzilam (Pueblo), Nichupté (Polígono 1) y puerto Morelos (CID) (Herrera Silveira et al. 2017).

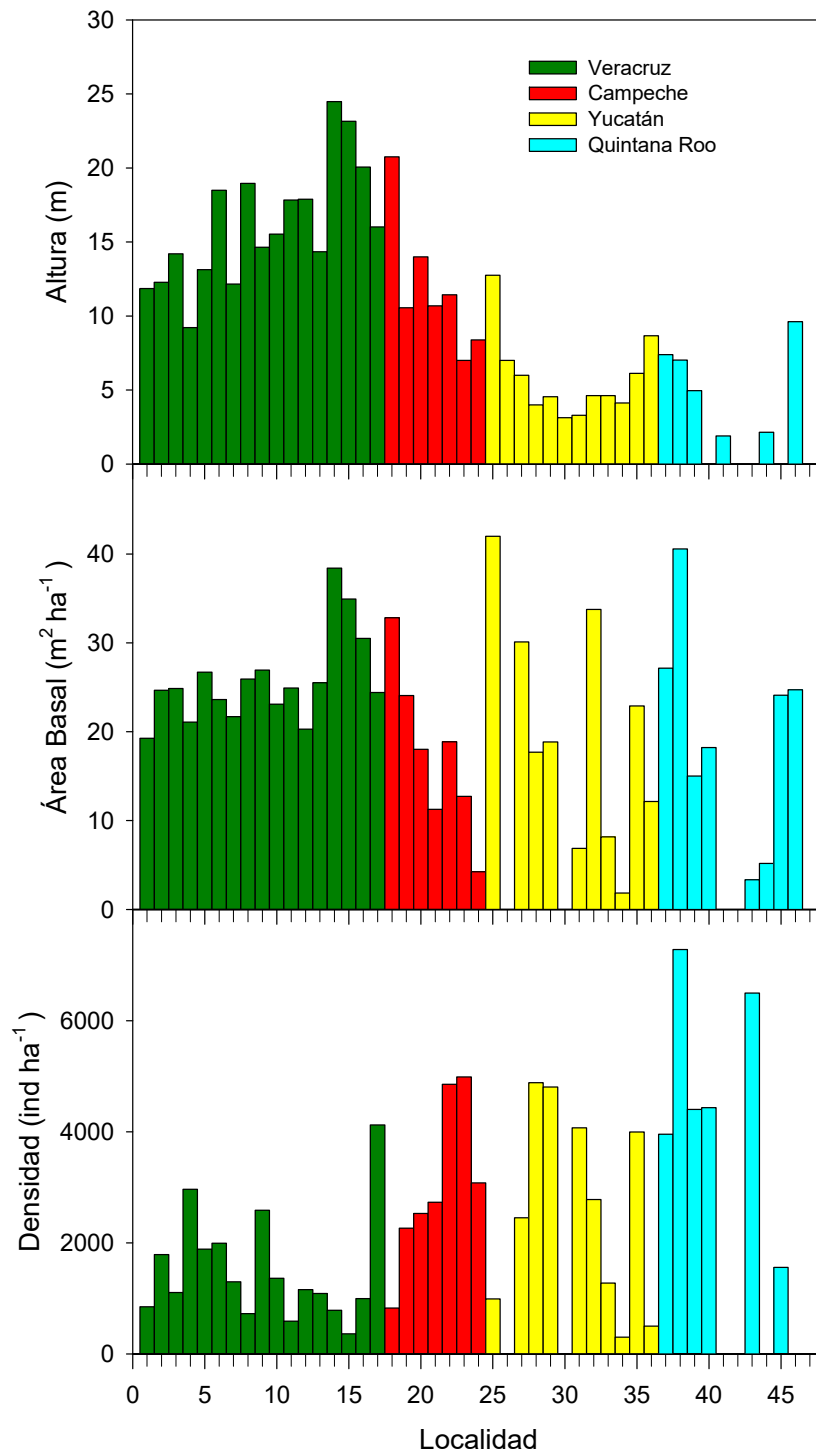


Figura 6. Variación del promedio de la altura, área basal y densidad en los sitios de estudio de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Ver Tabla 1 para las referencias numéricas de los sitios.

La mayor **área basal promedio** se registró en Veracruz y varió de $19.3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en Pueblo Viejo a $38.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en Cacahuate (Laguna de Sontecomapan; López-Portillo et al. 2018). En Campeche el área basal fue mayor en las Atasta y Estero Pargo (Laguna de Términos) y menor en Petén Neyac (Agraz et al. 2017). En la Península de Yucatán, el área basal no varió significativamente de oeste a este. Los mayores valores promedio de área basal se registraron en Celestún, Progreso y el Cuyo (25 a $40 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), los intermedios en Sisal y Ría Lagartos (16 a $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y los menores en las localidades restantes (1.8 a $8.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; Figura 6).

La menor **densidad promedio** por sitio (362 ind ha^{-1}) se observó en Costa Norte y la mayor en Metzapan (4125 ind ha^{-1}), pero sin tendencias latitudinales. En Campeche la densidad varió de $825 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en Atasta a $4,989 \text{ ind ha}^{-1}$ en Río Verde. En Yucatán la densidad va de 301 a $4,883 \text{ ind ha}^{-1}$ en Dizlam y Sisal respectivamente. Quintana Roo presentó el mayor número de individuos por hectárea variando de $1,558$ a $7,283 \text{ ind ha}^{-1}$ (Río Hondo y Nichupté, respectivamente). La mediana de la densidad incrementa de Veracruz a Quintana Roo con la mayor densidad en los sitios con manglares chaparros de la Península de Yucatán.

En general, hay una correlación entre la altura, la densidad y el área basal en los sitios de estudio. En Veracruz, la altura y la densidad se relacionan de forma inversa, pero en Yucatán, hay una relación inversa entre el área basal y la densidad porque existen grandes extensiones de manglar chaparro excepto en Celestún, en donde es grande el área basal pero la densidad es relativamente baja (Figura 6).

4. Ecología

Productividad por caída de hojarasca

Con el propósito de tener un esquema comparativo de la productividad de hojarasca por localidad entre los estados de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, se elaboraron gráficas con los valores que reportados por López-Portillo et al. (2017), Agraz et al. (2017) y Herrera-Silveria (2017). En la Figura 7 se reporta la productividad anual para

los diferentes sitios en Veracruz y Campeche. Se puede apreciar que el menor valor en Veracruz ocurre en El Llano y que hay variaciones entre años. El análisis de regresión múltiple tomando en cuenta la relación entre la caída de hojarasca, la latitud, la longitud y los tres años de monitoreo indica que no hay efecto de la latitud y que no hay diferencias entre años, pero que sí con la longitud, indicando una tendencia a que los sitios más al este hay mayor caída de hojarasca que en los sitios al oeste (Figura 8), es decir, que la caída de hojarasca anual tiende a aumentar del oeste hacia el este (de Veracruz a Campeche). Sería importante integrar al análisis los sitios de Yucatán y de Quintana Roo. Por otra parte, si se compara entre épocas del año (Figura 8), lo que sólo fue posible con los sitios de Veracruz, Yucatán y Quintana Roo) sugieren que es en Yucatán en donde hay menor caída de hojarasca en general, pero es importante verificar la forma en la que se calcularon esos valores y también calcularlos para Campeche a fin de complementar la base de datos y realizar análisis estadísticos formales (Figura 9).

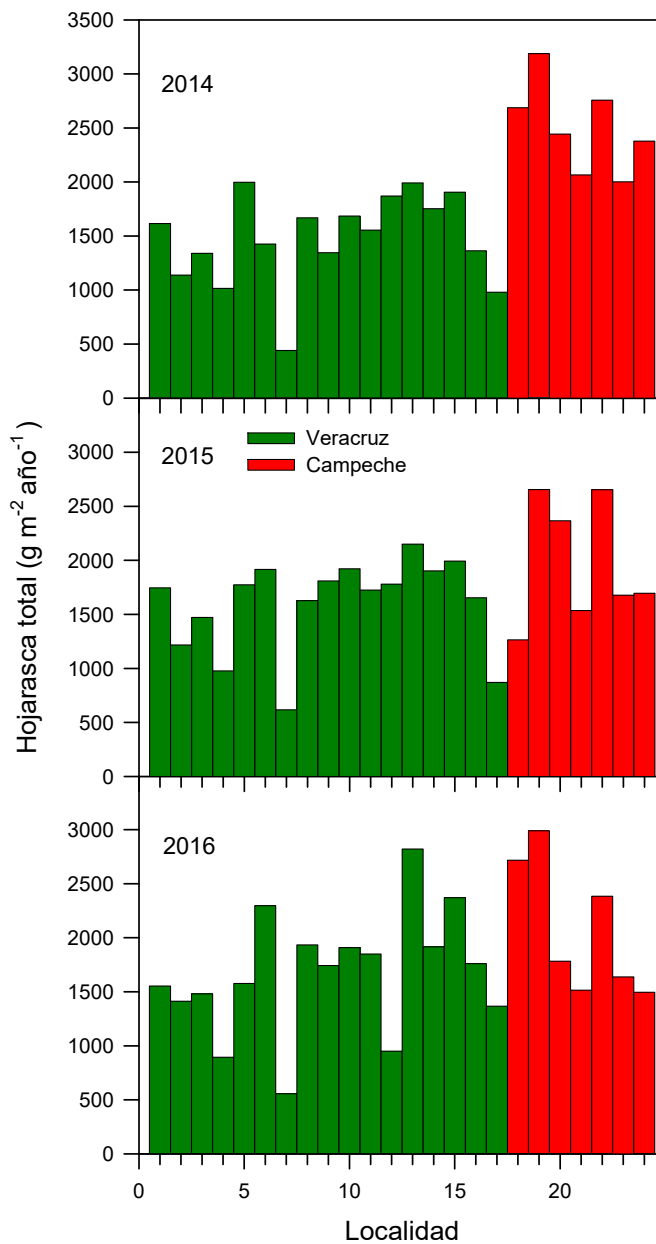


Figura 7. Variación anual (2014, 2015 y 2016) de la caída de hojarasca en los diferentes sitios de estudio de Veracruz y Campeche. Los promedios se calcularon sobre las geoformas y las réplicas de todos los sitios. Ver Tabla 1 para las referencias numéricas de los sitios.

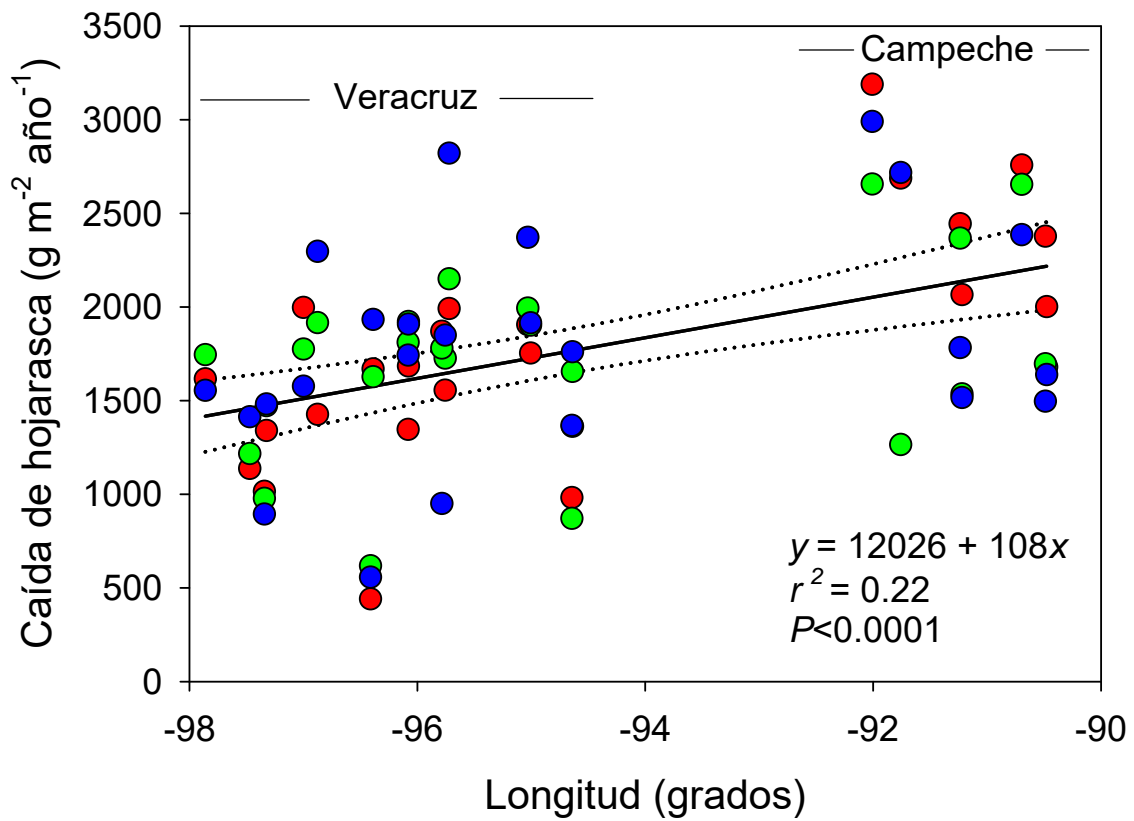


Figura 8. Relación entre la caída de hojarasca anual por sitio en función de la longitud geográfica. No hubo un efecto significativo de la latitud en la caída de hojarasca ($P > 0.05$). Cada símbolo es un sitio de monitoreo. Los colores de los símbolos indican el año de monitoreo (rojo, 2014; verde, 2015 y azul 2016). Se pueden distinguir los sitios de Veracruz de los de Campeche.

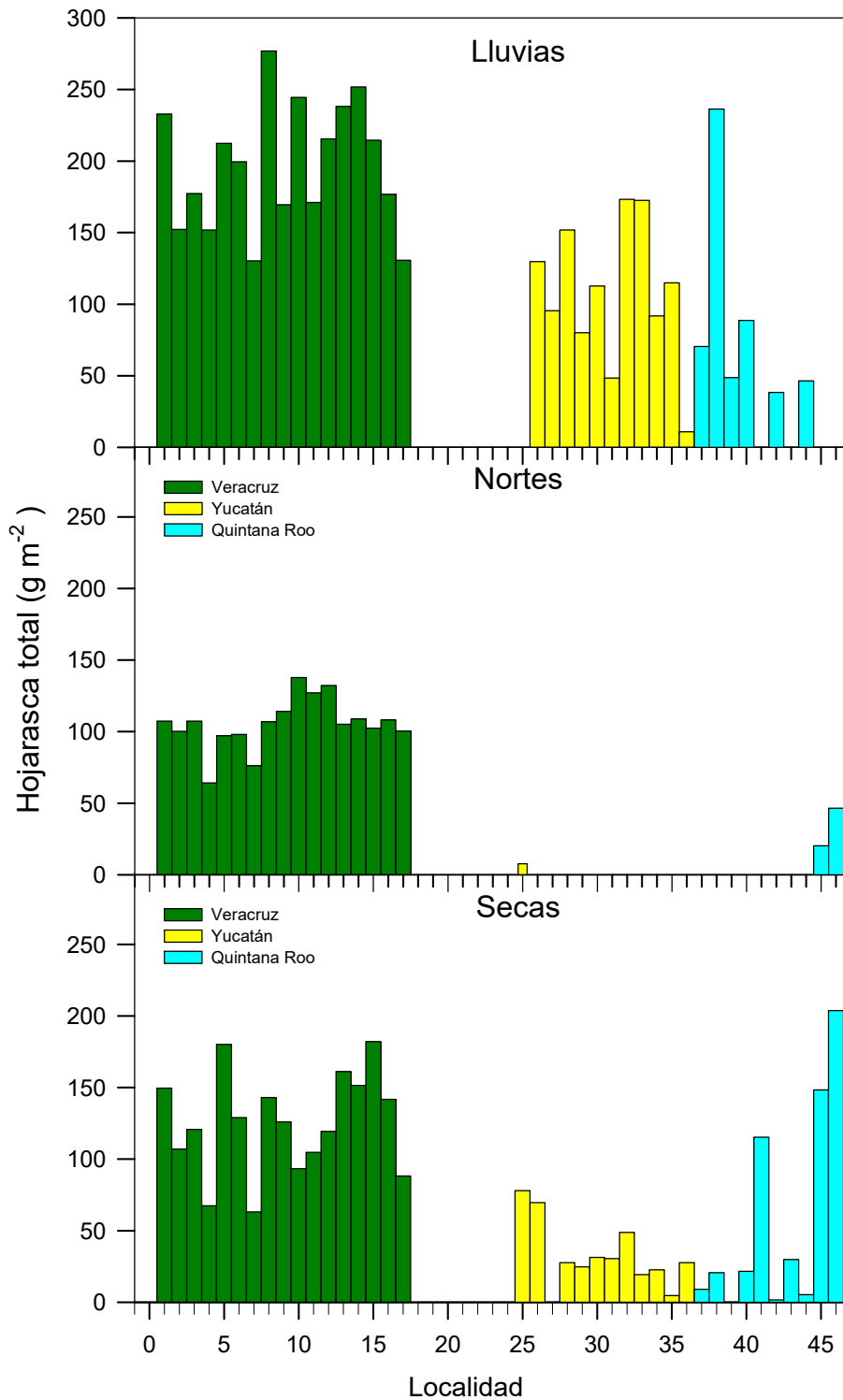


Figura 9. Variación de la caída de hojarasca por época en lluvias, nortes y secas en diferentes sitios de estudio de Veracruz, Yucatán y Quintana Roo durante el periodo de monitoreo. Ver Tabla 1 para las referencias numéricas de los sitios.

Por los resultados expuestos en los informes donde se incluyen las gráficas de barras mensuales por sitio de 2013 a 2016 para comparar entre los estados del Golfo de México y Mar Caribe se observa que hay estacionalidad en los valores máximos totales de caída de hojarasca: en **Veracruz** se registran pulsos máximos de julio a noviembre (época de lluvias e inicio de la de nortes), en **Campeche**, los pulsos se registran de junio a septiembre y el periodo de pulsos máximos se alarga en **Yucatán** en Picis 1, hasta noviembre y en Ría Lagartos en abril-mayo y en **Quintana Roo** la caída de hojarasca es máxima en Mahahual 4 y Río Hondo en marzo pero en La Ceiba (Puerto Morelos) el máximo se registra en diciembre. Independientemente de la especie, la caída de propágulos en **Veracruz** se registró de agosto a noviembre (lluvias y nortes) y en febrero en Boca de Júpiter (Alvarado), pero parece no haber un periodo definido en **Yucatán** y **Quintana Roo**.

En **Veracruz**, la caída de hojarasca del mangle negro en la zona norte sigue un patrón estacional, pero son menos productivos que los manglares del sur. Mientras que la producción de hojarasca del mangle rojo es mayor en el manglar de borde con respecto al manglar interno en todas las localidades monitoreadas. No es posible comparar entre sitios el mangle blanco por estar sólo en ocho de los 17 sitios (Pueblo Viejo, Mandinga Chica, Laguna Baja, Boca de Júpiter, Laguna Socorro, Cacahuate, Costa Norte y Metzapan).

En **Campeche**, durante el periodo de estudio (2014, 2015 y 2016) se propone que la caída de hojarasca está asociada a la precipitación (Agraz et al. 2017). De manera general, en las localidades de Río Verde y Estero Pargo la caída de hojarasca de mangle rojo disminuyó más de 30% en el manglar de borde al comparar 2014 con 2015, excepto en Atasta y Peten Neyac, que se reducen en 16 y 20 %, respectivamente. En 2016 se incrementa en 2% la caída de hojarasca en Río Verde, 6.7% en Estero Pargo, 21.3% en Atasta y 19.2% en Petén Neyac (Agraz et al. 2017). En Sabancuy y Xibujá, en donde domina el mangle negro, la caída de hojarasca se redujo en 14.8 y 14.4%, respectivamente, al comparar 2014 con 2015, y se redujo de 1.3% a 24.6% al comparar entre 2015 al 2016. Por último, en Río Champotón la caída de hojarasca disminuyó 3.1% de 2014 a 2015, y se redujo 10.1 % al comparar entre 2015 y 2016 (Agraz et al. 2017).

Para consultar la información detallada de la variación de la hojarasca en cada sitio y localidad en Yucatán y Quintana Roo a lo largo del periodo de monitoreo revisar el informe final Herrera Silveria et al. 2017. Es de llamar la atención la marcada diferencia de la productividad de hojarasca entre los manglares de Quintana Roo y Yucatán (a excepción de Rio Lagartos y Chetumal, Herrera Silveria et al. 2017, Figura 9).

En **Yucatán**, los valores máximos de caída de hojarasca se registran de junio a octubre durante la época de lluvias excepto en la localidad Sisal en el sitio Picis 1, con máximo durante época de nortes. Los valores mínimos de caída se registran en la época de secas. Los valores más altos se registraron en Chetumal, lo que puede estar directamente relacionado con fenómenos climatológicos. Valores más bajos se registraron en Mahahual (Herrera Silveria et al. 2017).

Referencias

- Agraz, C., R. Noriega, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo, J.J. Jiménez. 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 pp.
- Agraz-Hernández C.M., Osti Sáenz, J., Keb-Chan, C., Conde-Medina, K.P., Kumul-Martínez, G., Martínez, G., Reyes-Castellanos, J., Herrera-May, C. y A. Martínez. 2017. Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y el Caribe Mexicano: Inicio de una Red Multi-Institucional. Campeche. Segunda Etapa. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No.KN001. Ciudad de México
- 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
- Cintrón G. y Schaeffer-Novelli, 1984. Methods for studying mangrove structure. 91- 113 pp. In: Snedaker, S. y J. Snedaker (eds) *The Mangrove ecosystem: research methods*. UNESCO/SCOR. Working Group 60 on Mangrove Ecology.
- Cintrón, G y Schaeffer-Novelli 1983. Introducción a la ecología del manglar UNESCO. Montevideo, Uruguay 109 p.
- Corella, J.F., H.J.I. Valdez, A.V.M. Cetina, C.F.V. González, S.A. Trinidad y R.J.R. Aguirre 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México* 26(90): 73-102.
- Cox, W.G. 1981. *Laboratory manual of general ecology*. William C. Brown Co. Publishers. Iowa, USA. 230 p.

- Craft, C. B., E.D. Seneca y S.W. Broome, 1991. Loss on ignition and Kjeldahl digestion for estimating organic carbon and total nitrogen in estuarine marsh soils: calibration with dry combustion. *Estuaries*, 14(2): 175-179.
- Curtis J.T. y R.P. McIntosh 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496
- Day Jr., J., W. H. Conner, F. Ley-Lou, R. H. Day, A. Machado Navarro 1987. The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. *Aquatic Botany*, 27: 267-284
- De la Lanza Espino G.C.; Cáceres Martínez. 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 371-425 p.
- González Medrano, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. 2ª ed. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México, D.F. 82 pp.
- Herrera-Silveira J.A., Teutli-Hernández C., Cinco-Castro S., Ramírez-Ramírez 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.
- Holdridge, L.R.; W. Grenke, W.H Hatheway, T. Liang; J.A. Tosi. 1971. Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study. Pergamon, Nueva York.
- Holme, N. A. y A.D. McIntyre 1984. Methods for the study of marine Benthos. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- López-Portillo, J., M.L. Martínez, P. Hesp, J.R. Hernández, A.P. Méndez-Linares, V. Vasquez-Reyes, L.R. Gómez-Aguilar, O. Jiménez-Orocio, y S.L. Gachuz Delgado, 2011. Atlas de las costas de Veracruz. Manglares y Dunas. Colección Veracruz Siglo XX. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. 249 pp. ISBN 978-607-520-101-0.
- López-Portillo, J., A. L. Lara-Domínguez, M.C. Martínez García, M. Hernández, M. Rivera Rodríguez, C. Ureña Aranda, R.I. Galán Breth, V. M. Vásquez, E. Sáinz Hernández 2018. Informe Final Técnico del Proyecto: Programa Regional para la Caracterización y el Monitoreo de Ecosistemas de Manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional. Veracruz KN002. INECOL/CONABIO Convenio Núm. FB1678/KN002/13 (mayo 2013 a junio 2016).
- Lyons, J.E., M. C. Runge, H. P. Laskowski y W. L. Kendall 2008 Monitoring in the context of structured decision-making and adaptative management. *The Journal of Wildlife Management*, 72(8): 1683-1692
- Maass, M., E. Jardel, A. Martínez-Yrizar, L. Calderón, J. Herrera, A. Castillo, J. Euán-Ávila, M. Equihua 2010. Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Ecosistemas* 19(2):69-83
- 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.

- Pool D.J., S.C. Snedaker y A.E. Lugo 1977. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. *Biotropica* 9(3): 195-212
- Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153): 65-66.
- Toledo-Ocampo, A. 2007. "Marco conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México", p. 25-52. In: A.V. Botello., J. Rendon-von Osten., G. Gold-Bouchot., C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2da. Edición. UAC, UNAM, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Twilley, R.R. y V.H. Rivera-Monroy 2009. Ecogeomorphic models of nutrient biogeochemistry for mangrove wetlands, Chap. 23: 641-683. In: Perillo, G.M. E., E. Wolanski, D.R. Cahoon, M. M. Brinson (Eds) *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier, p. 641. ISBN: 978-0-444-53103-2
- Twilley, R.R., Rivera- Monroy, R.H. y Castañeda, E. 2004. Total Phosphorus Procedure (Dry Digestion) and ashing technique for soil and plant material. LSU Wetland Biogeochemistry Institute.
- Valderrama-Landeros L. H., Rodríguez-Zúñiga M.T., Troche-Souza C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, J.A., Vázquez-Balderas B., Cruz-López M. I., Ressler R., 2017. *Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, 128 pp.