

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:	López Portillo, J. A., A. L. Lara Domínguez, M. C. Martínez García, M. Hernández Sánchez, M. Rivera Rodríguez, C. Ureña Aranda, R.I. Galán Breth, V. M. Vásquez Reyes y E. Sáinz Hernández. 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. Veracruz. Segunda etapa. Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. KN002. 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 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

Jorge López-Portillo, Ana Laura Lara-Domínguez, Ma. Del Carmen Martínez García, Mauricio Hernández, Moisés Rivera Rodríguez, Cinthya Ureña Aranda, Rosa I. Galán Breth, Víctor M. Vásquez, Eduardo Sáinz Hernández

Enero 2018

Contenido

GENERALIDADES	3
RESUMEN EJECUTIVO	6
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	7
Objetivos particulares	8
ANTECEDENTES.....	8
ÁREA DE ESTUDIO	10
METODOLOGÍA	46
RESULTADOS Y ANÁLISIS	56
Caracterización de la vegetación.....	58
Reguladores del suelo.....	65
Recursos del suelo.....	71
Descripción de las características de los suelos.....	73
Productividad Primaria (hojarasca, raíces y madera)	89
CONCLUSIONES	94
REFERENCIAS	96

GENERALIDADES

Este informe final es la integración de los resultados que se obtuvieron durante el desarrollo del Proyecto KN002 (junio 2013 a julio 2016). Se destacan las tendencias de los parámetros estructurales de las comunidades de manglar y ambientales de 8 localidades a lo largo del Estado de Veracruz en un gradiente latitudinal donde se ubican 33 parcelas permanentes.

Etapas del proyecto

En la etapa de caracterización se redimensionaron las parcelas permanentes a 20 m x 20 m que incluyen las parcelas de 10 m x 10 m existentes de la primera etapa de monitoreo en las ocho localidades a lo largo de un gradiente latitudinal siendo de norte a sur: Pueblo Viejo–Tamiahua; Tumulco-Tampamachoco; Tecolutla-Nautla; El Llano–La Mancha, Mandinga, Laguna de Alvarado, Laguna de Sontecomapan y Laguna del Ostión, completando un total de 33 parcelas. Se caracterizó la estructura de la vegetación al inicio (2013) y al final (2016) del proyecto en cada localidad, cada sitio y cada geoforma. Asimismo, se colectaron muestras de suelo para determinar su densidad aparente, humedad, pH, materia orgánica, P_{total} y N_{total} , así como la descripción de los perfiles de suelo de cada geoforma / sitio / localidad.

En la etapa de monitoreo se midió mensualmente los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial y de inundación y se colectó y procesó la hojarasca de 165 trampas de hojarasca asociadas a las 33 parcelas permanentes. Este Informe Final presenta:

- a. Las coordenadas de los vértices de las parcelas permanentes de 20 m x 20 m y de 10 m x 10 m, reportadas en el archivo Excel denominado Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx
- b. Los parámetros de la estructura de 3,161 individuos marcados 52% de *Avicennia germinans*; 35% de *Rhizophora mangle* y 13% de *Laguncularia racemosa*. En la segunda caracterización se volvieron a medir 2,573.
- c. Los resultados de las 234 bandas dendrométricas colocadas en los individuos de las 3 especies de manglar asociados a cada geoforma /sitio / localidad.
- d. Los resultados de junio 2013 a agosto 2016 del monitoreo mensual de los parámetros fisicoquímicos asociados a cada parcela ubicada en las localidades estudiadas.
- e. Los resultados de las mediciones mensuales de acreción/subsidencia del suelo de cada geoforma / sitio / localidad.
- f. Los resultados de junio 2013 a julio 2016 de la hojarasca colectada mensuales de las trampas asociadas a cada parcela de cada geoforma / sitio / localidad (Pueblo Viejo - Tamiahua, Tuxpan, Tecolutla, La Mancha-El Llano, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y Ostión).
- g. Los resultados de las determinaciones químicas de pH, materia orgánica, N_{total} P_{total} , densidad y humedad de los suelos de cada geoforma / sitio / localidad.
- h. Los resultados de la producción de raíces finas de cada geoforma / sitio / localidad.
- i. Los resultados están en el archivo en Excel denominado Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx siguiendo el formato establecido por CONABIO donde se incluyen los cometarios y observaciones hechas en los informes pasados

- j. Las figuras correspondientes a los resultados obtenidos en el desarrollo del Proyecto KN002.

Logro de metas respecto de metas comprometidas

Se lograron el 100% de las metas comprometidas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Actividades que se desarrollaron en esta etapa del proyecto y porcentaje de avance de los indicadores de éxito con respecto al esperado.

Actividades	Primer Informe semestral (6 meses)		Segundo informe semestral (12 meses)		Tercer informe semestral (18 meses)		Cuarto informe semestral (24 meses)		Quinto informe semestral (30 meses)		Informe Final (36 meses)	
	Avance esperado	Avance logrado	Avance esperado	Avance logrado	Avance esperado	Avance logrado	Avance esperado	Avance logrado	Avance esperado	Avance logrado	Avance esperado	Avance logrado
Campo y Laboratorio	6	6	7	6	6	5	7	6	5	4.5	4	4
Actualización de base de datos	4	4	4	3.5	4	3.5	4	3.5	4	4	4	4
Elaboración tablas y figuras	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Elaboración Informe semestral	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Elaboración de Informe final	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
% Total	16	16	17	15.5	16	14.5	17	15.5	15	14.5	15	15

Logro de objetivos respecto a los compromisos

El trabajo realizado en esta segunda etapa está acorde a los objetivos planteados en el proyecto.

Grupo de trabajo

Responsable Técnico: Dr. Jorge López-Portillo

Personal Participante: Dra. Ana Laura Lara-Domínguez, Biól. Ma. Del Carmen Martínez García, M. en C. Mauricio Hernández, Biol. Moisés Rivera Rodríguez, Dra. Cinthya Ureña Aranda, Ing. Amb. Rosa I. Galán Breth, M. en C. Víctor M. Vásquez, Fis. Eduardo Sáinz Hernández.

Productos obtenidos

Se presentan los resultados finales del proyecto relacionados a la hojarasca (junio de 2013 a julio 2016) y parámetros fisicoquímicos del agua de inundación e intersticial de los piezómetros asociados a cada parcela en el periodo de junio de 2013 a agosto de

2016. La base de datos se encuentra en el archivo Excel Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx.

Se presenta completa la base de datos correspondiente a la hoja de las coordenadas geográficas de los sitios y localidades monitoreados a lo largo del gradiente latitudinal en la zona costera del estado de Veracruz. Donde se ubican las parcelas tanto de 20 x 20 m como de 10 x 10 m; los datos se encuentran en el archivo Excel Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx.

Se entrega completa la base de datos correspondientes a las determinaciones químicas. Los sitios AL_Boca_Júpiter_b, SC_Costa_Norte_b y SC_Costa_Norte_i no tienen datos de los recursos del suelo debido a que el suelo de la localidad contiene una capa de materia orgánica mayor a 1 m de profundidad y la muestra se resbalaba del tubo de PVC siendo consistente con la metodología.

Se contrató a un técnico que trabajó en el procesamiento de las muestras para producción de raíces finas, los resultados se incluyen en este Informe Final para todas las localidades.

Se presentan los resultados del crecimiento de los árboles a través de las bandas dendrométricas que se colocaron en 2013 y se volvieron a medir durante la segunda evaluación de la estructura de la vegetación (2016).

RESUMEN EJECUTIVO

Se presentan los resultados finales de la segunda fase del monitoreo en los manglares del estado de Veracruz (junio 2013 a agosto 2016). El monitoreo se realizó en 33 parcelas permanentes de 20 m x 20 m que incluye el censo de 3,161 individuos marcados con placas de aluminio al inicio del proyecto y al final se censaron 2,573 entre adultos y juveniles, en una proporción de 52% de los individuos marcados son *Avicennia germinans*; 35% de *Rhizophora mangle* y 13% de *Laguncularia racemosa*. En la caracterización de la estructura que después de 3 años de monitoreo disminuyó de 2013 a 2016 en área basal, DAP y densidad probablemente debido a la disminución de individuos principalmente de juveniles. No se observan variaciones de importancia de los parámetros ambientales del agua intersticial al inicio y final del proyecto, el pH y potencial redox se observan fluctuaciones mayores al inicio del monitoreo; y la temperatura es constante a lo largo del monitoreo con un patrón cíclico definido por la época del año en todas las localidades monitoreadas. Las localidades al norte como son los manglares de Tamiahua, Tuxpan y La Mancha tienden a ser más salinos y al sur Mandinga y Ostión; mientras que los manglares en Tecolutla, Alvarado y Sontecomapan tienden a ser estuarinos. En general la producción primaria de hojarasca también muestra un patrón cíclico con pulsos en la producción de flores y propágulos durante el verano-otoño (junio a noviembre) de cada año.

INTRODUCCIÓN

El litoral del estado de Veracruz limita al este con el Golfo de México y cuenta con aproximadamente 750 km de largo y 1,166 km² de superficie de estuarios y lagunas costeras que representa el 7.4% de la superficie nacional (Castañeda y Contreras, 2001; Varona-Cordero et al. 2014). Presenta en general un clima cálido húmedo, con temperatura promedio de 22° a 26° C; y temperaturas mínimas en el mes de enero nunca por debajo de 14°C (López-Portillo y Ezcurra 2002). Por su forma alargada se presenta un gradiente latitudinal (aproximadamente 5° de latitud norte) que provoca que la porción sur reciba cerca de 4,000 mm de precipitación anual mientras que en la zona norte las lluvias alcancen valores inferiores a los 2,000 mm por año. Esto conlleva a que en el sur del estado aumente considerablemente la estructura y diversidad de los bosques de manglar. Además de lo anterior, factores como la orografía e hidrología influyen en la estructura de un manglar.

Este proyecto, en su primera etapa, fue apoyado por la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) con el propósito de establecer Programas de Monitoreo en Áreas de Manglar para el fortalecimiento de la Red de Monitoreo de la Manglares de México y siguiendo los lineamientos de la Red Mexicana de Estudios Ecológicos a Largo Plazo. Durante 2009 a 2012 se desarrolló el **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, con la participación del CINVESTAV-Unidad Mérida conduciendo los estudios en Quintana Roo y Yucatán, el Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche realizando el programa para los manglares de Campeche, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) lo propio en Tabasco y el Instituto de Ecología A.C., en los manglares de Veracruz.

En este último programa se establecieron ocho localidades ubicadas a lo largo de los 5° de latitud que abarca el litoral del Estado de Veracruz. En cada una de estas se establecieron dos sitios de estudio que incluían manglares de borde (característicos de *Rhizophora mangle*) y manglar interno (principalmente con la presencia de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*). Esto determinó el seguimiento de 16 parcelas de 20 m x 20 m con manglar de borde y 17 de manglar interno. Además del seguimiento estructural del ecosistema, se colectó mensualmente la hojarasca asociada a cada rasgo geomorfológico, determinando la productividad de cada componente a lo largo de 34 meses. Estos resultados están asociados a las características ambientales (salinidad, temperatura, redox y pH) del agua intersticial.

Los resultados obtenidos hasta el momento establecen que a lo largo del estado de Veracruz los manglares se ubican en zonas deltaicas y asociadas a lagunas costeras. Su distribución es en segmentos ubicándose los de mayor distribución en Alvarado, Tamiahua y Tuxpan.

OBJETIVO GENERAL

En esta segunda etapa se propone continuar con el monitoreo a largo plazo de los sitios de manglar ya seleccionados, que cumplen con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y que están acordes con los criterios de la CONABIO para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas, contribuyendo a consolidar una red de monitoreo en el Golfo de México y Caribe Mexicano. Los antecedentes metodológicos están en la caracterización y el monitoreo que desde el año 2000 inició el Grupo de Procesos y Manejo Costero del CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida en la Península de Yucatán. También está la experiencia desarrollada por parte del Instituto EPOMEX-UAC con investigaciones que involucran el componente ecológico-social y de restauración en los manglares del estado de Campeche a lo largo de 7 años, como parte de un programa sobre la conservación, restauración y manejo. Por último, igualmente está basado en los trabajos realizados en el estado de Veracruz por el Instituto de Ecología, A.C. en las lagunas de La Mancha y El Llano y el Ostión, y

así como en el Atlas de las Costas de Veracruz: Manglares y Dunas Costeras de ese Estado (López-Portillo et al. 2011).

Objetivos particulares

- Continuar con el programa de monitoreo a largo plazo de la estructura de la vegetación de manglar, regeneración potencial, productividad de raíces, productividad de hojarasca y vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar del ecosistema de manglar del estado de Veracruz.
- Caracterizar los tipos de manglar y sus coberturas en el estado de Veracruz de acuerdo a sus características estructurales y a las variables ambientales que los regulan.
- Identificar las tendencias de cambio de las características ambientales y de la estructura y composición vegetal a partir de una línea de base y fundamentando un programa de monitoreo.
- Mejorar la representatividad de la estructura de los manglares en las localidades en estudio establecidas en el proyecto de monitoreo FN007, incrementando la dimensión de las parcelas a 20m x 20m a fin de disminuir el error de identificación de las parcelas al ubicarlas en las imágenes multiespectrales del satélite SPOT-5.

ANTECEDENTES

En México como en el resto del mundo, los ecosistemas de manglar están entre los más amenazados. Se estima que más del 50% de los manglares en el mundo han sido destruidos y en las últimas dos décadas el 35% ha sido transformado para otros usos (Feller et al. 2010). Chapman (1976) estimó que el 75% de las costas tropicales en el mundo en algún momento tuvieron una franja de manglar.

Hasta 2005, en México no existían estimaciones confiables sobre la cobertura de manglar y la velocidad a la que está cambiando y tampoco se conocía a escala nacional cuáles son los factores que están provocando estos cambios. Es cuando la CONABIO inicia un Sistema de Monitoreo de los Manglares de México que tiene como propósito generar el conocimiento necesario que incida en la toma de decisiones a través de políticas públicas. Este es un programa de monitoreo a largo plazo para determinar el estado del manglar y las tendencias de cambio (pérdida, deterioro o recuperación) así como identificar las amenazas existentes y latentes para definir acciones para su

conservación. En México, entre 1970 y 2005 se ha perdido el 10% de las áreas de manglar causado principalmente por las actividades humanas (Valderrama et al. 2014).

El Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM), desarrollado por la CONABIO, se enriquece constantemente con información generada por técnicas de percepción remota, trabajo *in situ* y retroalimentación entre instituciones. La participación del Instituto de Ecología, A.C. en el sistema de monitoreo es a través del componente experimental, que consiste en el estudio de la estructura y función del manglar en sitios piloto distribuidos a lo largo del litoral del estado de Veracruz donde se realizan pruebas de parámetros e indicadores que contribuyan al monitoreo de manglares a través del tiempo.

Las localidades estudiadas por el Instituto de Ecología están contenidas en los Sitios prioritarios de Manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica establecidos por la CONABIO y un grupo de expertos (Acosta-Velázquez y Rodríguez Zúñiga 2007). Dentro del Golfo de México en la zona costera de Veracruz, las unidades de muestreo fueron establecidas en los siguientes sitios:

1. Pueblo Viejo – Chairel (GM51);
2. Tuxpan (GM56);
3. Ciénega del Fuerte (GM35), Nautla (GM59) y Tecolutla (GM55);
4. La Mancha (GM49);
5. Mandinga (GM48);
6. Sistema Lagunar de Alvarado (GM53),
7. Sontecomapan (GM54);
8. Laguna Ostión (GM45).

Sobre los estudios de largo plazo en ecosistemas de manglar existen pocos artículos publicados. Por ejemplo, Day et al. (1996) hacen un análisis de la producción primaria neta en los manglares de Laguna de Términos. La literatura más abundante sobre estudios en manglares de estructura y función son más abundantes y variados. Day et al. (1987) estudian la productividad de dos sitios de manglar en la Laguna de Términos estableciendo que los manglares de ribereños el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), la producción de hojarasca y la producción de madera son mayores en relación a los manglares de franja. Sin embargo, la densidad de árboles en el manglar de franja es

hasta el doble más que los ribereños. En el Golfo de México, Utrera-López y Moreno Casasola (2008) la dinámica de la hojarasca en los manglares de la Laguna de La Mancha; Agraz-Hernández et al. (2011) describe el perfil de vegetación la estructura del bosque y la dinámica de la hojarasca en los manglares de la Laguna La Mancha. Adame et al. (2012) estudia los conductores que moldean la estructura y producción de hojarasca en un ambiente kárstico. Arreola-Lizárraga et al. (2004) estudian la estructura y producción de hojarasca de *Avicennia germinans* en el Golfo de California; Félix-Pico et al. (2006) la estructura y función en los manglares del estuario El Conchalito en la Paz.

ÁREA DE ESTUDIO

Área geográfica Veracruz

El estado de Veracruz cuenta con alrededor de 754 km de litoral costero y 1,166 km² de superficies estuarinas (Castañeda y Contreras 2003). Se encuentra en el extremo oriental de México, en la entrante más occidental del Golfo de México, comprendido entre los 22° 30' y los 17° 15' de Latitud Norte, y los 93° 20' y 98 40' de Longitud Oeste. Los manglares en este litoral se distribuyen como fragmentos de tamaño variable, pero contenidos en alrededor de 30 sistemas asociados a lagunas costeras, estuarios y planicies de inundación que cubren 43,200 ha como se muestra en la Figura 1. De estos fragmentos se seleccionaron, para el presente estudio, 8 localidades que representan las áreas con mayor cobertura de manglar (Lagunas de Alvarado, Pueblo Viejo y Tamiahua, y el estuario del Río Tuxpan), con una cobertura intermedia (Lagunas del Ostión, Sontecomapan y Mandinga), con cobertura pequeña Tecolutla-Nautla y la Mancha-El Llano (López-Portillo et al. 2011).

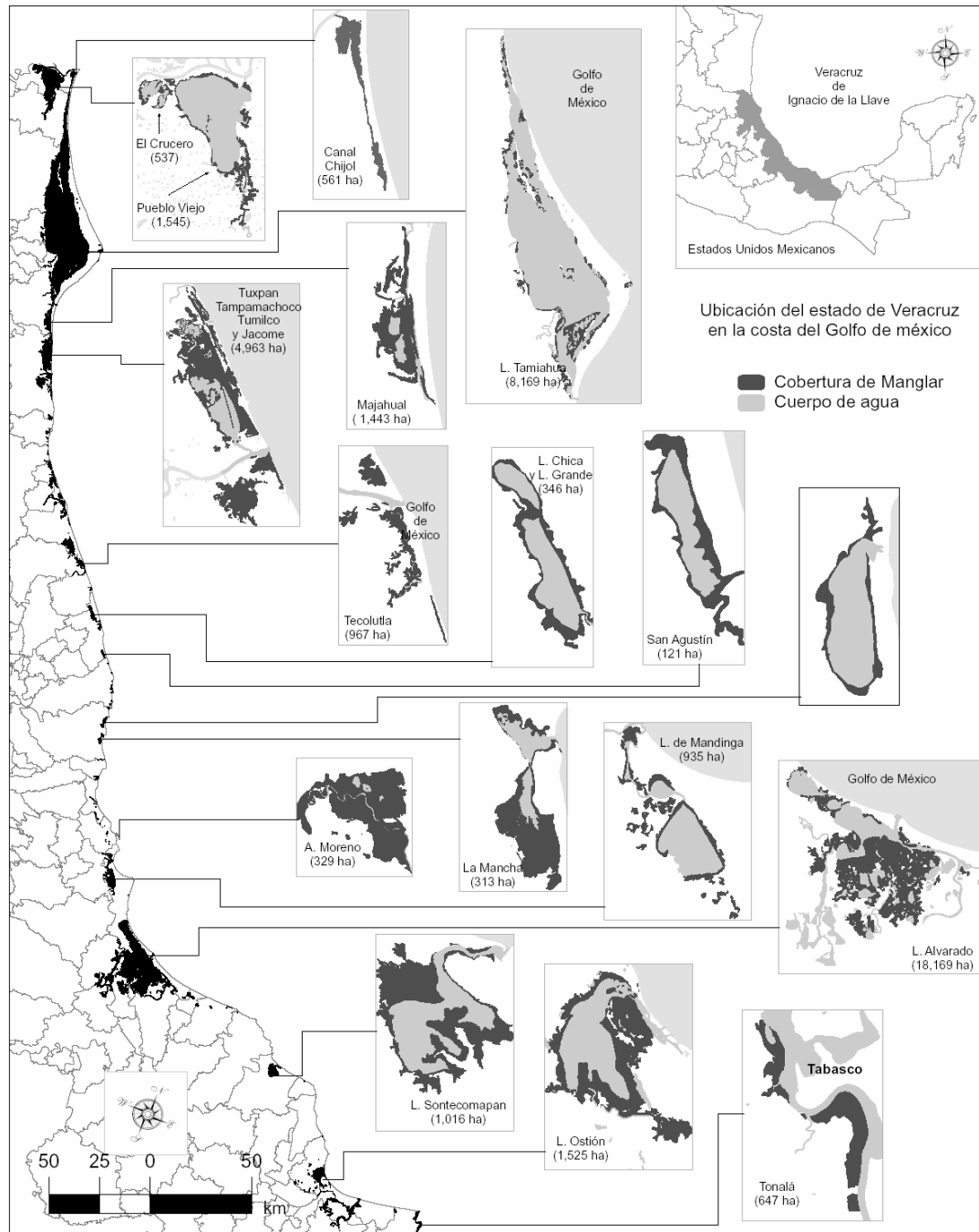


Figura 1. Localización de los manglares de mayor superficie en el estado de Veracruz. La superficie que cubre el manglar aparece en color más oscuro y el área que abarcan, en hectáreas, aparece entre paréntesis para cada sistema (López-Portillo et al. 2011).

Zonas de muestreo

Los 8 sistemas considerados para la caracterización y monitoreo de los manglares en Veracruz se muestran en el Cuadro 2. Todos ellos, excepto la laguna de Mandinga, están catalogados como prioritarios, por el nivel de conocimiento existente y requerido y por el grado de amenaza al que están expuestos.

Cuadro 2. Sistemas de manglares en donde se ubican las localidades de los estudios a largo plazo en el estado de Veracruz.

Nombre	Área de la cuenca de la laguna (ha) (1)	No. de sitio Ramsar	Región Prioritaria CONABIO (2)	Área de Manglar (ha)
1. Lagunas Tamiahua	97,300	1596	HM	9,714
2. Manglares de Tuxpan	1,500	1602		4,963
3. Estuario de Tecolutla	-----		H	967
4. Lagunas La Mancha-El Llano	3,352	1336	M	394
5. Laguna de Mandinga	32.5			935
6. Sistema Lagunar de Alvarado	13,350	1462 y 1355	HM	19,104
7. Laguna de Sontecomapan (Los Tuxtlas)	891	1342	HM	1,016
8. Estuario Coatzacoalcos-Laguna del Ostión	2,170		HM	1,525

Nota: (1) Área de la cuenca de la laguna (fuente: CONABIO). (2) Áreas prioritarias de la CONABIO (Arriaga et al. 1998, 2000 y 2002): H = Regiones hidrológicas prioritarias; M = Regiones Marinas Prioritarias.

Escenario ambiental

- *Clima*

La forma alargada del Estado de Veracruz le permite abarcar aproximadamente 5° de latitud con una gran variabilidad climática asociada a la versatilidad topográfica, tipos de suelos y por tanto de vegetación como respuesta a estas variables ambientales. Por tanto, se registran cinco tipos de clima en el territorio veracruzano, desde cálido húmedo hasta frío (Figura 2). En las llanuras costeras del Golfo Norte y Golfo Sur y hasta una altura máxima de 1,000 msnm los climas son cálidos húmedos, Subtipos Af(m), Am(f) y Am; y subhúmedos, subtipos Aw₀, Aw₁ y Aw₂ (INEGI 2010) abarcando aproximadamente un 80% del territorio veracruzano; poseen una temperatura media anual de 22° a 26° C y la precipitación total anual varía entre 2,000 a poco más de 3,500 mm.

La principal diferencia entre el clima del sector norte y el sector sur del estado radica en la precipitación a lo largo del año tanto en los meses más secos como durante los meses de invierno. El estado presenta el 73% de su territorio por debajo de los 200 m de altitud,

es decir una planicie costera surcada de ríos. El resto del territorio asciende abruptamente en el centro del estado (Pico de Orizaba). Este territorio interactuando con sistemas meteorológicos tropicales en el verano y extra-tropicales en el invierno da como resultado más de 40% de días del año con lluvias (Tejeda 2006).

Los principales fenómenos meteorológicos que presenta el Estado de Veracruz son:

- 1) Nortes que son masas de aire frío proveniente de latitudes medias con intensos gradientes de presión en la troposfera baja que resultan en irrupciones de aire frío hacia los trópicos (Acevedo y Luna 2006). Ocurren preferentemente de octubre a mayo, se pueden presentar vientos de hasta 110 km/h, descenso en la temperatura desde 2 a 15° en 24 horas, y en ocasiones con precipitaciones sobre las cordilleras del este de México.
- 2) Ondas tropicales que son fenómenos característicos del verano. Una onda tropical puede generar las condiciones necesarias para que se formen los ciclones tropicales, como son: temperatura del agua de mar a una profundidad aproximada de 10 m mayor a 26.5°C, baja presión atmosférica en superficie, inestabilidad de la atmósfera, entre otras.
- 3) Un ciclón tropical es un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y tiene lugar primordialmente sobre los espacios oceánicos tropicales. Cuando las condiciones oceánicas y atmosféricas propician que se genere un ciclón tropical, su evolución y desarrollo puede llegar a convertirlo en huracán.

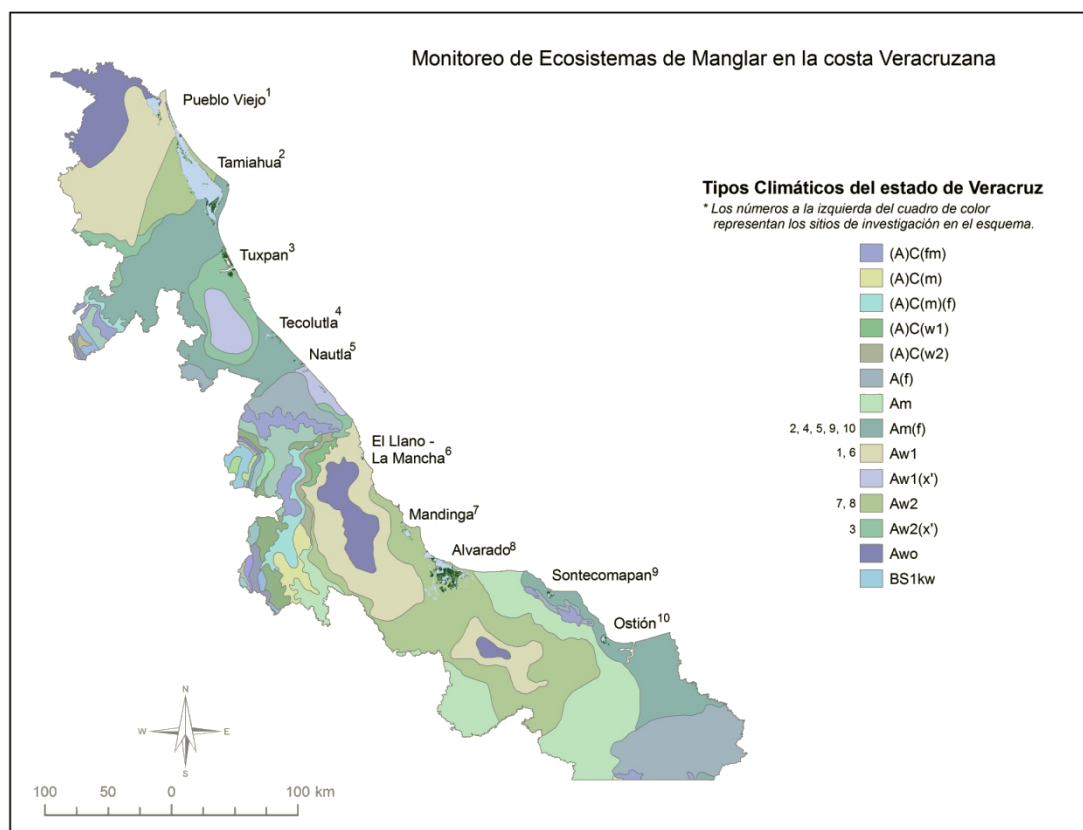


Figura 2. Esquema de los tipos climáticos del entorno costero del estado de Veracruz. Se muestran las 8 localidades de estudio a lo largo de la zona costera Fuente: CONABIO 1998.

La costa del Estado de Veracruz presenta clima Cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C con variaciones en cuanto a la precipitación Aw1 intermedio, Aw2 más húmedo (Cuadro 3). Además, las localidades ubicadas en el norte están más expuestas a las masas de aire frío denominados nortes por lo que son un poco más frescas en relación con las del centro y sur.

Cuadro 3. Esquema de tipos Climáticos del estado de Veracruz. (CONABIO, 1998)

Tipo climático	Descripción de temperatura	Descripción de precipitación
Aw1	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. <i>Pueblo Viejo y La Mancha-El Llano</i>
Am(f)	Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C	Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano y

	y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. <i>Tamiahua, Tecolutla - Nautla, Sontecomapan y el Ostión</i>
Aw2(x')	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. <i>Tampamachoco - Tuxpan</i>
Aw2	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. <i>Mandinga y Alvarado</i>

En las figuras 3 y 4 se muestran los diagramas de Walter Lieth para las localidades de estudio y en todas se muestra una clara disponibilidad de agua. A continuación, se describe brevemente el comportamiento de cada uno de norte a sur:

Tamiahua. Se observa que la temporada de secas abarca de mediados de enero a mayo, y un pulso de precipitación en septiembre correspondiente a los fenómenos hidrometeorológicos característicos del estado (nortes y huracanes)

Pueblo Viejo. Periodo de secas de noviembre a mayo coincidiendo el pulso de precipitación en septiembre.

Tuxpan. Se observa un cambio en el patrón con respecto a los anteriores diagramas observándose el periodo de secas de mediados de febrero a abril, pero el pulso de precipitación se presenta nuevamente en septiembre.

Tecolutla y Nautla. En esta localidad con un periodo corto de secas registrándose en febrero y con máximo de lluvia en septiembre, aunque menos intenso que las localidades más al norte.

La Mancha-El Llano, Mandinga y Alvarado presentan un esquema muy parecido, con secas de noviembre a mayo y un máximo de precipitación entre mayo y noviembre. En estas localidades no es evidente el efecto de nortes y huracanes.

Sontecomapan, no se observa un periodo de secas con una alta disponibilidad de agua a lo largo del año, pero con un pulso en septiembre.

Ostión (Minatitlán), se observa un periodo de secas de la mitad de febrero a mayo, el resto del año con alta disponibilidad de agua con un pulso en septiembre.

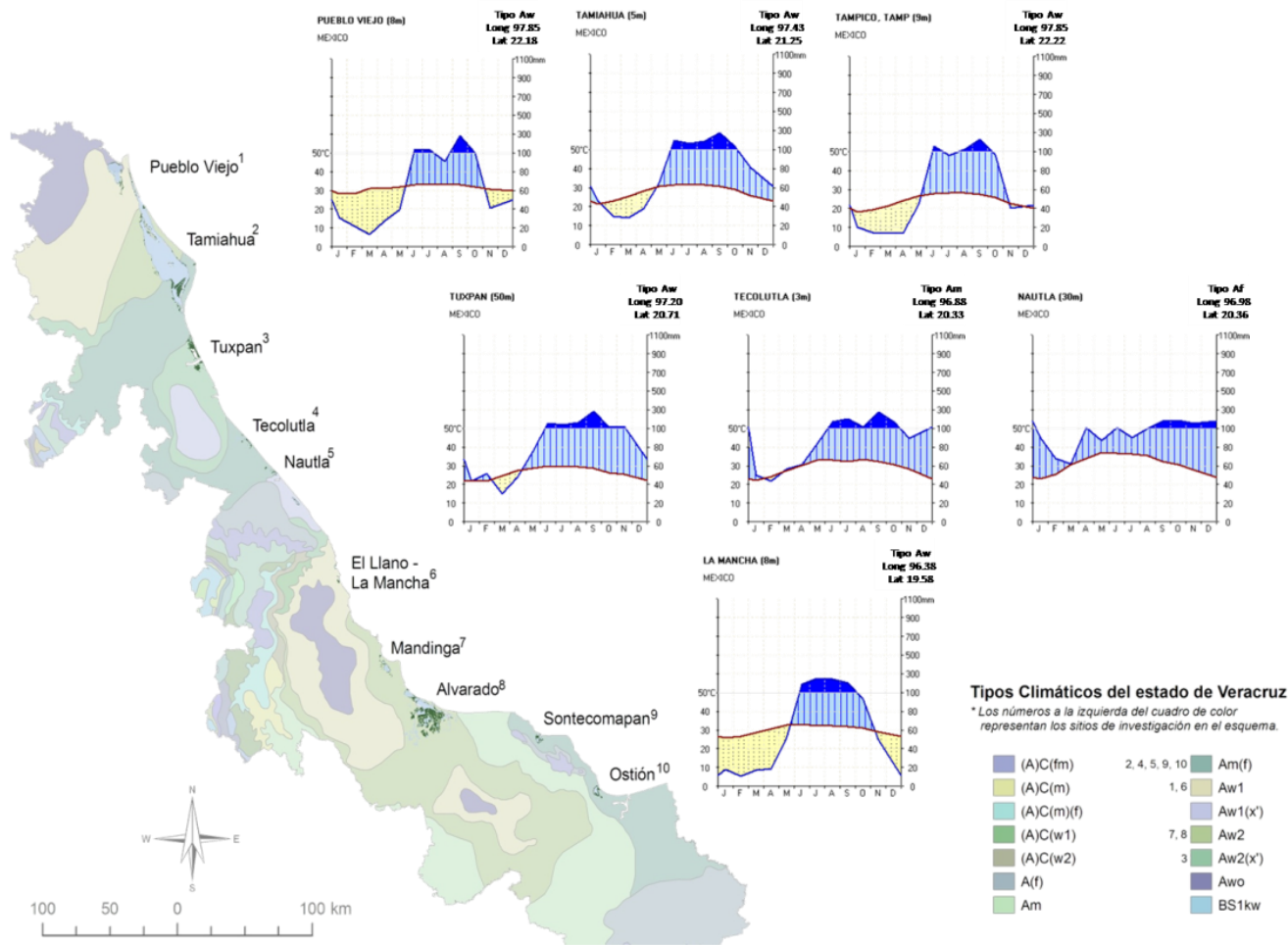


Figura 3. Diagramas de Walter Lieth para las localidades del norte del estado (Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampico, Tuxpan, Tecolutla, Nautla y la Mancha).
Fuente CONABIO 1998, datos de CONAGUA-EMAS (1970-2010).

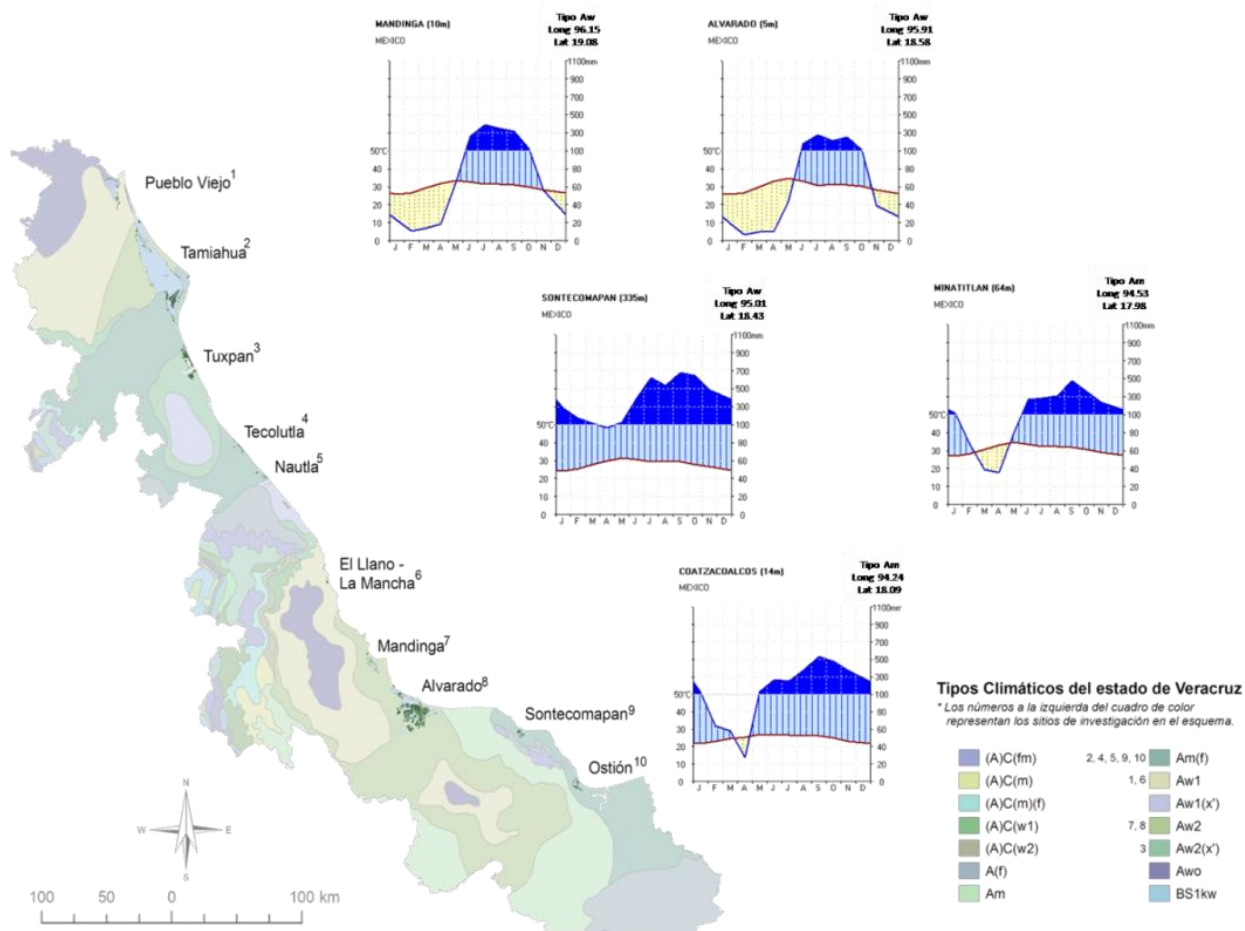


Figura 4. Diagramas de Walter Lieth para las localidades del sur del estado (Mandinga, Alvarado, Sontecomapan, Minatitlán y Coatzacoalcos) Fuente CONABIO 1998, datos de CONAGUA-EMAS (1970-2010).

En general en las localidades en estudio se identifican básicamente dos clasificaciones climáticas: Tropical con lluvias en verano (La Mancha, Mandinga, Alvarado) y Ecuatorial húmedo para el resto de las localidades.

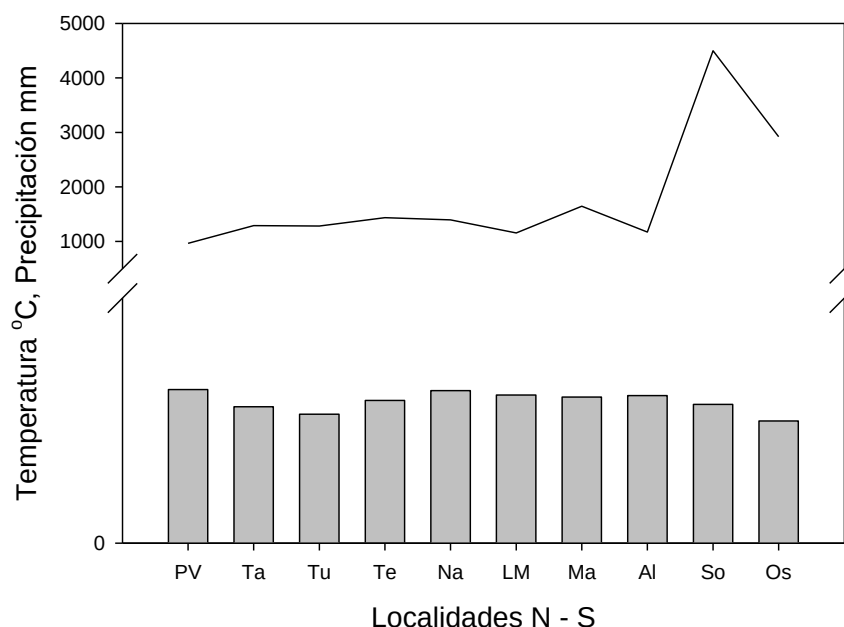


Figura 5. Variación de la temperatura promedio anual y precipitación total anual a lo largo del gradiente latitudinal representado por la ubicación de las localidades en estudio: PV = Pueblo Viejo; Ta = Tamiahua; Tu = Tuxpan; Te = Tecolutla; Na = Nautla; LM = La Mancha-El Llano; Al = Alvarado; So = Sontecomapan y Os = El Ostión (Fuente: ERIC III versión 1.0 hasta 2004 [electronic resource, 2006]: extractor rápido de información climatológica / IMTA).

La precipitación se incrementa hacia el sur del gradiente, y es particularmente elevada en las lagunas de Sontecomapan y El Ostión. Es importante hacer notar que la estación meteorológica de Sontecomapan está a 335 m de altitud y que la precipitación puede ser menor de los 4500 mm reportados en la Figura 5.

No se cuenta con datos detallados sobre fenómenos del clima, más que los relacionados con precipitación y temperatura, pero en el Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (CICOLMA) existe una estación meteorológica automatizada que es mantenida por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Esta es una ventana a eventos meteorológicos que pueden ser relevantes para explicar la estructura, composición y productividad de los manglares. En este sentido, la Figura 6, muestra las frecuencias de velocidad, dirección e intensidad de los vientos registrados por mes en 2009. A lo largo del año predominan los vientos del sur-oeste y de los vientos del norte más intensos (de 11 a 17 nudos) se registraron de enero a mayo en ese año.

Proyecto: Caracterización y Monitoreo de Ecosistemas de Manglar: Veracruz,
Convenio FB1678/KN002/13

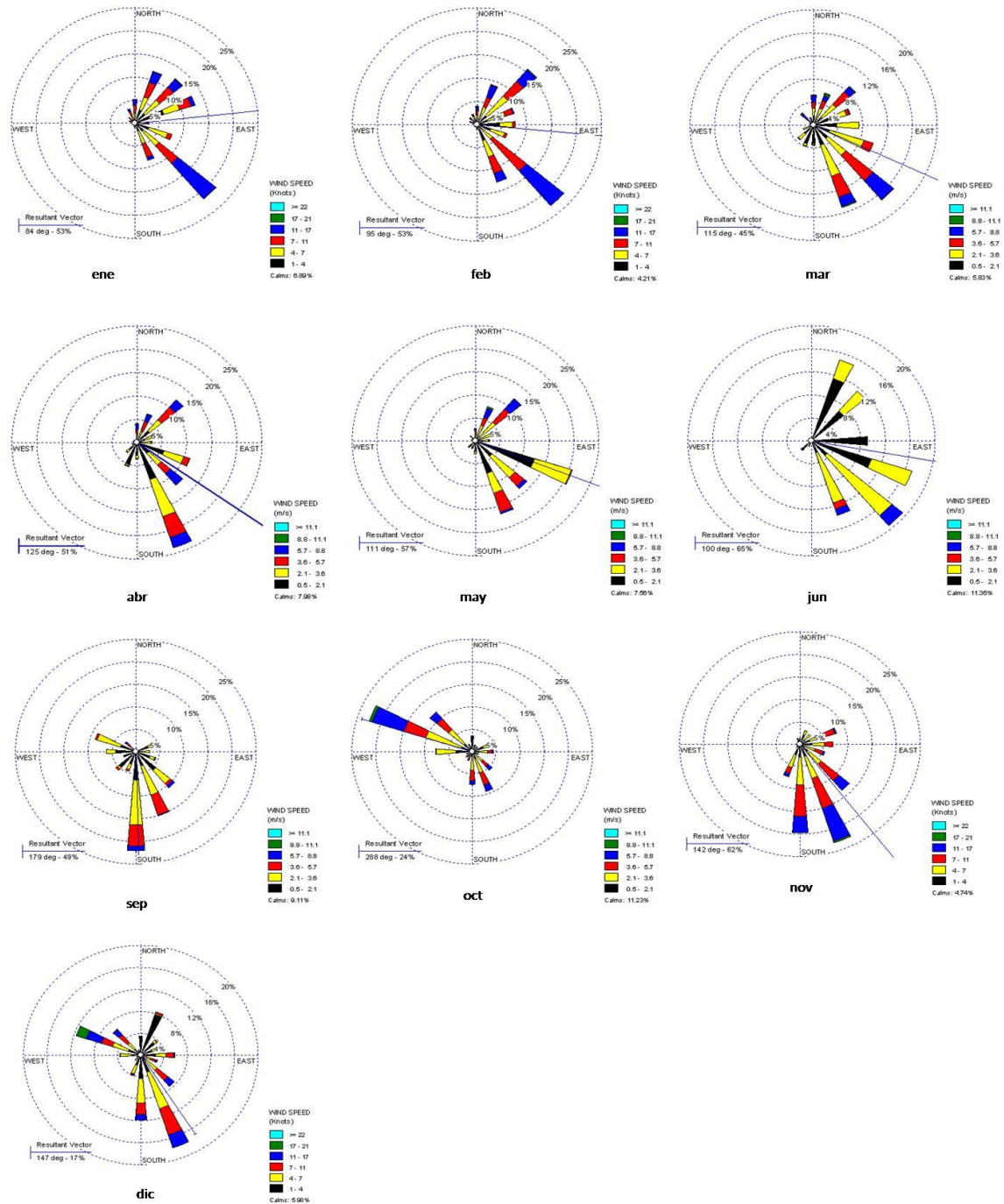


Figura 6. Rosa de los vientos de enero a diciembre de 2009 para la estación meteorológica ubicada en CICOLMA, La Mancha. El tamaño de las barras indica la frecuencia relativa de los vientos y los colores su componente de intensidad en nudos.

- *Eventos hidrometeorológicos*

Entre los principales eventos meteorológicos que se presentan en el estado de Veracruz están los fenómenos hidrometeorológicos que abarcan desde las depresiones tropicales hasta los huracanes de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson. Estos fenómenos se presentan en diferente frecuencia e intensidad. A continuación, se presenta un primer análisis comparativo de este fenómeno hidrometeorológico para los estados que bordean al Golfo de México.

Los huracanes sólo se desarrollan en los trópicos entre las latitudes 5° y 30° y están entre los fenómenos naturales capaces de causar grandes daños a poblaciones costeras y ocasionar pérdidas humanas. Pero tienen profundas consecuencias para la estructura y composición de los ecosistemas tanto por su capacidad para producir claros de diferentes tamaños como por la precipitación que traen consigo (Jiménez et al. 2007).

Entre las regiones de mayor frecuencia de huracanes está el norte del Océano Atlántico, el Mar Caribe y el Golfo de México. La formación de ciclones tropicales varía ampliamente de un año a otro, oscilando entre uno y veinte, con una media de diez (2005 batió el récord al registrar un total de 28 eventos). La costa atlántica de Estados Unidos, México, América Central, las Islas Caribeñas y Bermudas se ven afectadas frecuentemente por estos fenómenos. La mayoría de las tormentas atlánticas más intensas son Huracanes del tipo Cabo Verde, ya que se forman en la costa occidental de África, cerca de las islas de Cabo Verde. Sin embargo, muchas de las tormentas que afectan los estados mexicanos del Golfo de México se forman en el mismo Golfo y por su corto recorrido no tienen oportunidad de desarrollarse como las del Atlántico que afectan frecuentemente los estados de Yucatán y Quintana Roo. De ahí que en estos estados sea mucho más alta de frecuencia de huracanes de categoría 4 y 5.

Para determinar la influencia de los huracanes en la costa de los 6 estados que bordean el Golfo de México, se utilizó la base de datos de la *NOAA Coastal Services Center* que abarca los años 1886 a 2008. En el Cuadro 4 se resume las frecuencias por grado de intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos registrados en los estados mexicanos del Golfo de México y el Caribe. La mayor frecuencia se observa en Quintana Roo y la menor en Tabasco. Por otra parte, el 52% de los eventos son tormentas tropicales.

Cuadro 4. Fenómenos hidrometeorológicos registrados en los estados mexicanos que bordean el Golfo de México y el Caribe desde 1886 a 2008.

Estado	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5	TOTAL
Tamaulipas	1	24	7	2	5	2	2	42
Veracruz	5	23	14	7	1	0	0	50
Tabasco	3	4	2	0	0	0	0	9
Campeche	9	23	2	1	0	0	0	35
Yucatán	13	27	7	6	3	2	1	59
Quintana R.	12	40	10	12	3	3	2	82

(Fuente: NOAA Coastal Services Center). DT-depresión tropical; TT, tormenta tropical; H1-H5, huracanes de categoría 1 a 5 en la escala Saffir-Simpson (<http://www.nhc.noaa.gov/sshws.shtml>).

En la figura 7 se observa la trayectoria de cada uno de estos fenómenos previa al tocar la costa de cada estado. También se indica su categoría de intensidad, así como su posible influencia en los ecosistemas de manglar distribuidos a lo largo de la zona costera del Golfo de México.

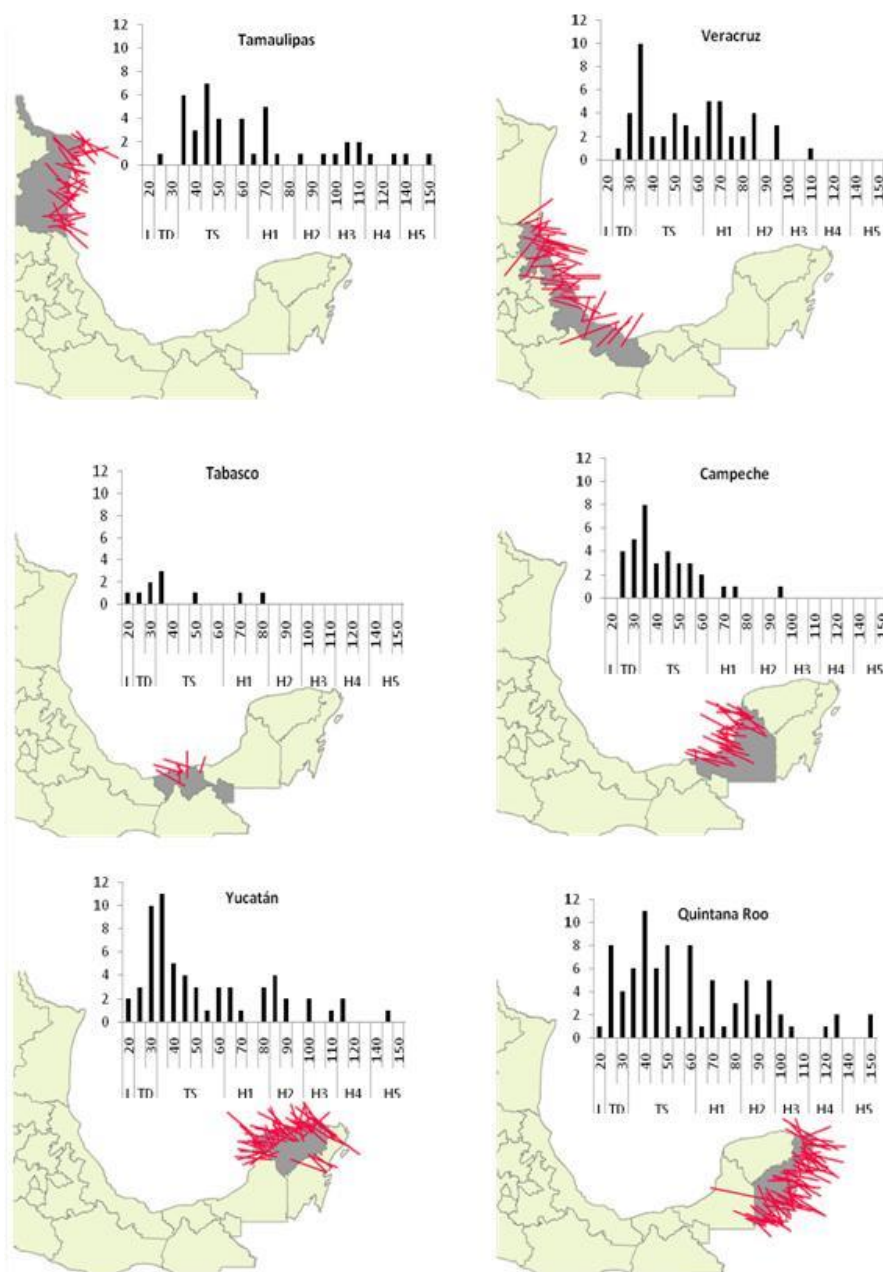


Figura 7. Frecuencia de huracanes que han tocado costas del territorio mexicano. La escala vertical representa el número de huracanes, la escala horizontal describe cada categoría y el rango de velocidad de vientos, en nudos, que la define. L-Zonas de baja presión atmosférica TD-Depresión tropical; TT-Tormenta tropical; H1-H4, huracanes de categoría 1 hasta categoría 5 (Fuente: NOAA Coastal Service Center).

En el estado de Veracruz, la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos disminuye de norte a sur (Figura 8). La diferenciación de frecuencias por grado geodésico permite observar que predominan las tormentas tropicales con mayor frecuencia de sur a norte y se refleja en todas las categorías, por lo que es de esperar que haya un efecto importante en la estructura y composición de los manglares también en ese sentido. Por ejemplo, los tres huracanes de categoría 3 están en el norte de Veracruz-Tamaulipas. Para el sur del estado hay una menor incidencia de estos fenómenos: entre los grados

18 y 19 de latitud, sólo se registran tres tormentas tropicales, dos huracanes de categoría 1 y uno de categoría 2. La zona aparentemente más protegida es la que está entre los grados 19 y 20 de latitud: ahí sólo se registraron cinco tormentas tropicales, un huracán categoría 1 y uno de categoría 2.

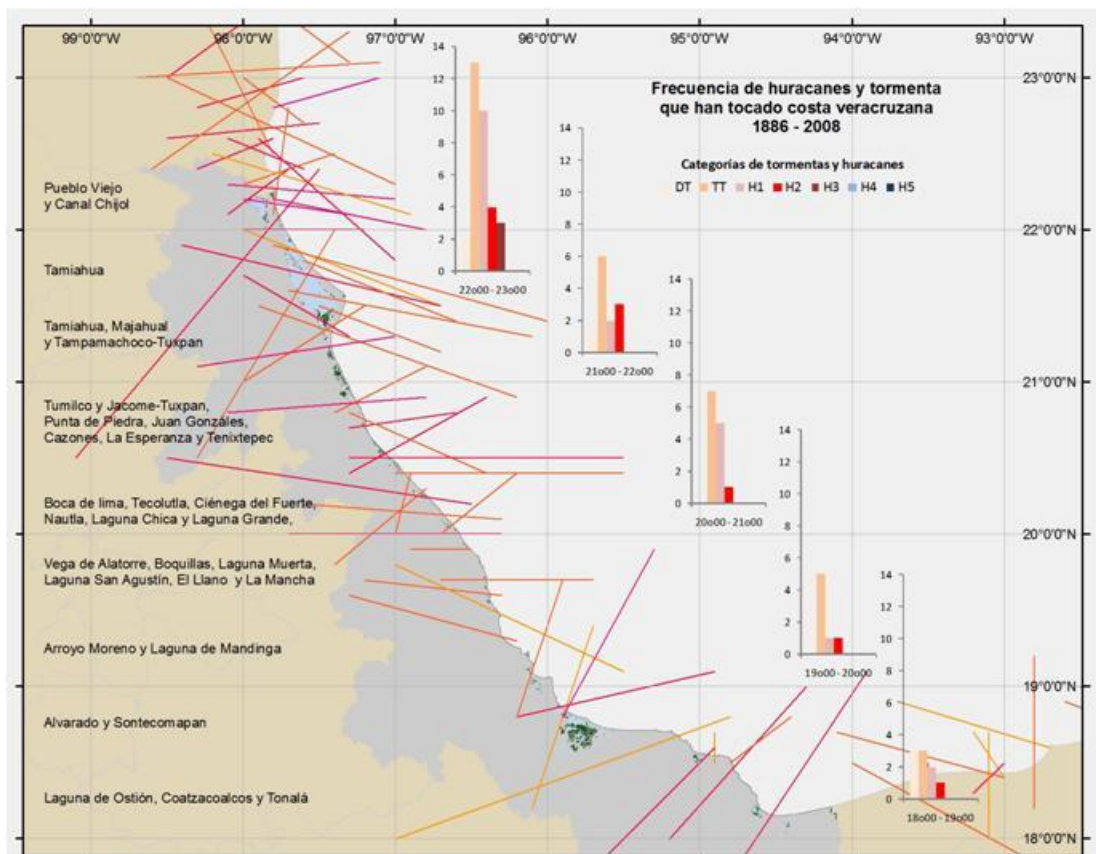


Figura 8. Distribución de eventos meteorológicos en la costa de Veracruz. Las gráficas de barras indican la frecuencia de éstos por grado geodésico. La costa veracruzana abarca 4.5 grados de latitud. El quinto grado, más al norte, lo comparte con la costa del estado de Tamaulipas. DT- Depresión tropical; TT-Tormenta tropical; H1-Huracán categoría 1; H2- Huracán categoría 2; H3- Huracán categoría 3; H4- Huracán categoría 4; H5- Huracán categoría 5. Las líneas indican las trayectorias de los eventos al tocar tierra y su color indica la categoría (Fuente NOAA Coastal Service Center).

- **Geomorfología**

El estado de Veracruz ocupa la mayor extensión emergida de la cuenca del Golfo de México, comparado con los estados de Tamaulipas (al norte) y Tabasco (al este). Las principales provincias fisiográficas presentes en su territorio son la Llanura Costera del Golfo Norte, La Llanura Costera del Golfo Sur y entre ellas la porción oriental del Eje Neovolcánico que forma la Sierra de Manuel Díaz. En la del norte, se encuentra la Sierra de Tantima y Otontepec, en la región conocida como la Huasteca, en las inmediaciones del paralelo 21° alcanzando altitudes hasta de 1200 m. Mientras que en la llanura sur al norte del paralelo 18°N se localiza el macizo montañoso de la Sierra

de los Tuxtlas cuya orientación es noroeste-sureste de 1750 m de altitud. Además, el Estado limita su extensión por el Oeste la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y la Sierra Norte de Chiapas (Soto et al. 2001, Hernández et al. 2006).

Abundan suelos profundos formados por materiales depositados por los ríos, pues en esta región desembocan algunos de los 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 en la parte central del estado de Veracruz. Al norte de Chiapas y al oriente de Tabasco se tienen grandes zonas inundables con abundancia de pantanos permanentes. La sierra de los Tuxtlas, de origen volcánico, interrumpe el paisaje de esta provincia sobre la costa. Es de destacar también el lago de Catemaco, desarrollado en una enorme caldera volcánica (González Medrano 2003).

Los ecosistemas de manglar con mayor superficie responden a planicies fluviales muy amplias que permiten la formación de lagunas internas con elevada incorporación de agua dulce, proveniente de los escurrimientos superficiales, sub-superficiales 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 cifras muy pequeñas. Es importante destacar que de las 8 localidades estudiadas 6 se encuentran asociadas a una laguna costera (Tamiahua, La Mancha, El Llano, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y Ostión) y otras 2 están asociadas a deltas de ríos (Tuxpan y Tecolutla). Además, la localidad Tuxpan está también asociada a una laguna costera (Tampamachoco).

- *Geomorfología - fisiografía y escenarios importantes*

La clasificación crono-morfo-genética del relieve de la zona costera de Veracruz, como expresión geomorfológica general, representa uno de los primeros pasos dentro de la geografía del lugar, para la definición y delimitación de unidades sintéticas naturales (paisajes físico - geográficos u otras unidades; Hernández Santana et al., 2007). Estas unidades son indispensables para el establecimiento de modelos de ordenamiento y/o reordenamiento ecológico territorial. Así como también, para el levantamiento geomorfológico a escala más detallada de las localidades de manglares, con el propósito de determinar sus zonaciones internas dependientes de la estructura y dinámica del microrelieve. Estudios de esta naturaleza, ya han sido probados por

especialistas nacionales (López-Portillo y Ezcurra, 1989a, 1989b; Méndez, 2003; Hernández Santana et al., 2007; Flores et al. 2007; Méndez et al. 2007) y extranjeros (Thom, 1967; Dawes, 1986) entre los principales exponentes del uso de la geomorfología en estos ecosistemas.

Para la caracterización geomorfológica del ambiente costero veracruzano se establecieron los siguientes criterios de delimitación: hacia el interior continental se consideró un contorno envolvente de todos los sistemas de manglar; la costa correspondiente del Golfo de México como límite interactivo tierra - mar; y al Norte y al Sureste los ríos Pánuco y Tonalá respectivamente. De esta manera, la correlación geomorfológica entre el área del manglar y los escalones morfoestructurales y los tipos del relieve interior, determinaron que el límite del área de estudio tenga una extensión variable, dependiendo de los rasgos del relieve local del humedal, fluctuando entre 5 y 25 a 30 km hacia el continente (Acosta-Velázquez y Rodríguez Zúñiga 2007; López-Portillo et al., 2011) Las zonas de mayor extensión se localizan en los sectores de Veracruz - Alvarado y de Coatzacoalcos, donde todos los ecosistemas alcanzan su mayor desarrollo, tanto vertical como horizontal. En este sentido, se destacan las amplitudes y extensiones de las planicies fluviales y lacustres - palustres acumulativas.

En general, las estructuras que controlaron el desarrollo de la zona costera del Estado de Veracruz fueron la Cuenca de Tampico - Misantla, el Macizo de Teziutlán, la Cuenca de Veracruz, el Macizo volcánico de los Tuxtlas y la Cuenca Salina del Istmo (Figura 9).

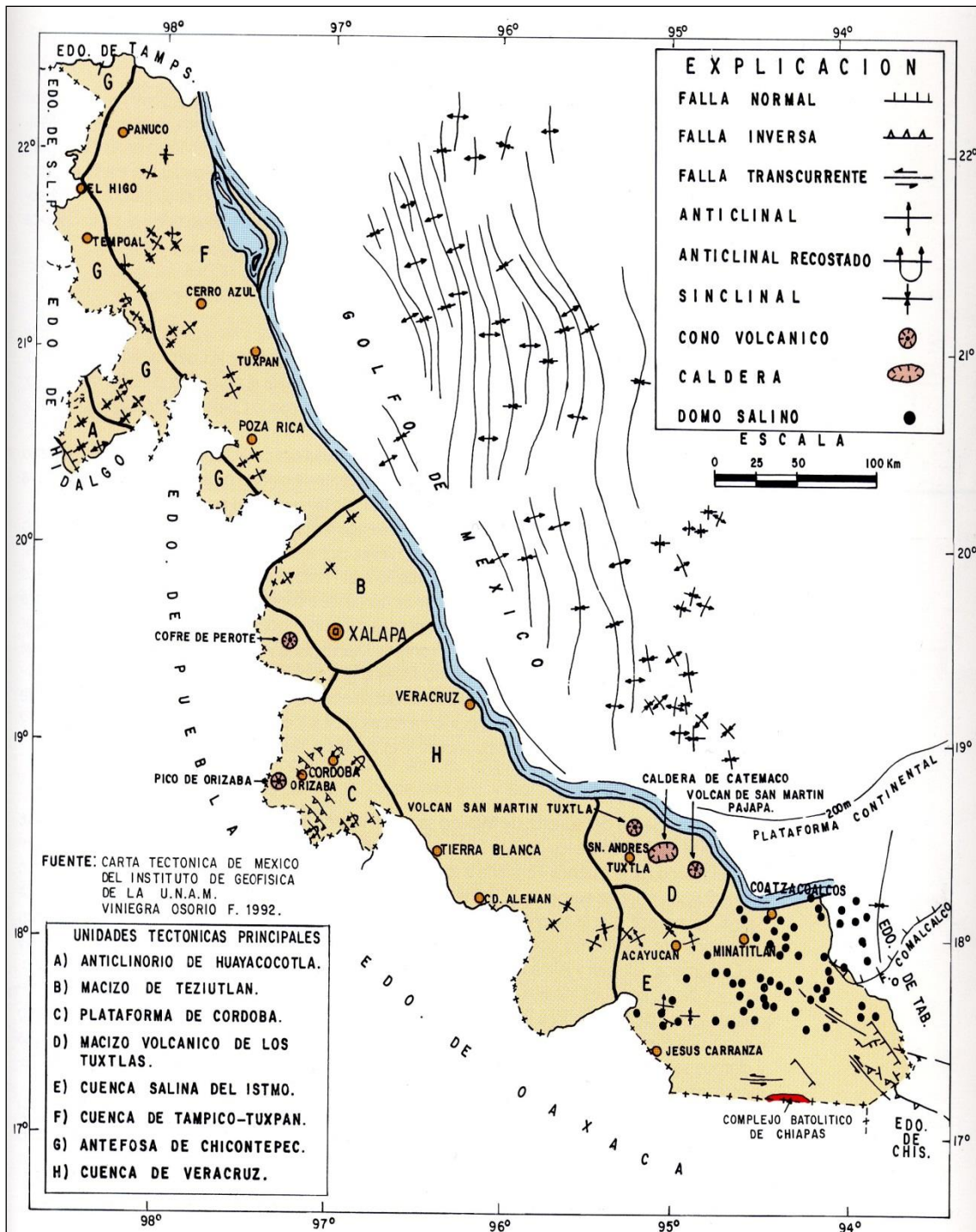


Figura 9. Principales estructuras regionales del Estado de Veracruz (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

La formación del relieve del ambiente costero del Estado de Veracruz obedece a la acción y desarrollo diferenciado, tanto en el espacio como en el tiempo a procesos endógenos como son los tectónicos y volcánicos, y a procesos exógenos como son los abrasivos y acumulativos marinos, erosivos, denudativos, gravitacionales, fluviales, eólicos, lacustre - palustres y antrópicos. Además, las características morfoestructurales dependen, principalmente de la posición del Estado de Veracruz, en el sentido de

ubicarse en las planicies bajas acumulativas formadas en el Cuaternario del Golfo de México, que propició la extensión de los depocentros cenozoicos a lo largo de todo su territorio costero (Hernández Santana et al., 2007).

Por otra parte, el régimen hidrotérmico del trópico húmedo, con abundantes precipitaciones y elevadas temperaturas, y fuertes vientos persistentes durante la mayor parte del año, como los Alisios del Noreste, y los frentes fríos ("Nortes") en invierno, proporcionan la energía suficiente para el desarrollo de los procesos degradativos (abrasivos, eólicos, erosivos, denudativos y otros), de transporte sedimentario y de agradación o acumulación (fluviales, eólicos, marinos, lacustre - palustres y otros). Por supuesto, que tanto las superficies esculturales como las acumulativas deben, en gran medida, la formación de sus niveles de planicies y de terrazas a la influencia de las oscilaciones glacio - eustáticas del Cuaternario, las que presentan un comportamiento regional en la región mexicano - caribeña, aunque en algunos sitios, la tectónica local ha contribuido a complicar la identificación de los diferentes niveles (Hernández et al. 2006).

Los ecosistemas de manglar con mayor superficie responden a planicies fluviales muy amplias que permiten la formación de lagunas internas con elevados escurrimientos superficiales y protegidos por cordones de playa. Mientras que los ecosistemas de manglar que se distribuyen sin esta protección y en planicies de inundación reducidas responden con un área pequeña restringida a las corrientes de agua y con bocas efímeras pequeñas.

Cuencas hidrológicas e impactos antropogénicos

- *Hidrología (superficial, subsuperficial)*

Veracruz es un estado rico en recursos naturales, abundante agua y una gran extensión territorial. Sus recursos hidrológicos están conformados por una red de cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos agrupados administrativamente en dos Regiones Hidrológicas (Región IX Golfo Norte y Región X Golfo Centro) que fluyen a una amplia planicie costera que corresponde al 73% (53,155 km²) del total del territorio Veracruzano, donde se ubican al menos 16 lagunas costeras así como de 4 ríos o estuarios que descargan directamente a la zona marina adyacente constituida por la plataforma continental, el talud y la llanura abisal (Lara-Domínguez 2011).

Todos los ríos que riegan el estado nacen en la vertiente de la Sierra Madre Oriental o en la Mesa Central de oeste a este para desembocar en el Golfo de México. Se ha

estimado que por el estado escurre aproximadamente el 30% (121,000 hm³) del escurrimiento total nacional, destacando por la magnitud de sus aportaciones las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con casi el 14 y 13% respectivamente. Entre los ríos más caudalosos están los ríos Pánuco, Tuxpan, Papaloapan (el más caudaloso del estado), Juan Michapan, Coatzacoalcos y río Uxpanapa.

Asimismo, el estado cuenta con lagunas costeras y estuarios que por su ubicación en la planicie costera se caracterizan por la mezcla de agua dulce proveniente de los ríos y del agua de mar creando un gradiente de salinidad. Esta propiedad les confiere importantes funciones ya que constituyen reservorios de biodiversidad representada por manglares, pantanos, marismas, vegetación acuática sumergida, que a su vez conforman hábitats de crianza y protección de la fauna acuática salobre, marina y de agua dulce durante las diferentes etapas del ciclo de vida.

- *Tipo y magnitud del impacto (antropogénico)*

Los principales impactos que amenazan a los ecosistemas de manglar en el estado de Veracruz son: el avance de la mancha urbana, de las actividades agropecuarias (potreros, cultivos de naranja y vainilla, invasión de especies exóticas como los pastos “mejorados”, rellenos), de las actividades industriales, el uso de la madera para la construcción de artes de pesca (charangas para captura de camarón), en la industria de la construcción. Así también son constantemente amenazados por la descarga de aguas residuales que contaminan las áreas de manglar. También están amenazados por la industria petrolera en cuanto a sus descargas y derrames accidentales de hidrocarburos. También hay interrupción de flujos superficiales y subsuperficiales por la infraestructura de la industria del petróleo, construcción de caminos y terraplenes, desarrollos inmobiliarios y turísticos principalmente. Afectación en la hidrología por el azolve de los afluentes (López-Portillo et al. 2011).

A continuación, se exponen las principales características físicas de las cuencas hidrológicas donde se ubican las 8 localidades en estudio y los tipos de impactos en la calidad del agua (Moreno-Casasola et al. 2002, López-Portillo et al. 2011).

- *Cuenca hidrológica del Río Panuco*

Corresponde a la Región Hidrológica RH26 siendo la 5ª más extensa del país. Abarca los estados de Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, así como pequeñas porciones de los estados de Guanajuato, México y Nuevo León. Su escurrimiento de aguas superficiales se estima en 19,286 Mm³/año, un promedio de

611.56 m³/s. El deterioro en la calidad de sus aguas se debe al vertido de aguas residuales urbanas sin tratamiento, aportadas principalmente por la Ciudad de México, además de las que recibe durante su recorrido hasta desembocar al mar. Asimismo, el aumento de breas en las playas de Tampico y Veracruz indica el continuo impacto de la actividad petrolera sobre los ecosistemas costeros y su posible influencia en la calidad de las aguas de las lagunas de Pueblo Viejo y Tamiahua.

La cuenca de la Laguna de Tamiahua está administrativamente ubicada en la Región Hidrológica 26, entre las cuencas de los ríos Pánuco y Tuxpan y se conecta con estas corrientes a través de un canal de navegación intracostero (Canal de Chijol) construido durante el Porfiriato. Los principales impactos están históricamente asociados a la explotación petrolera y recientemente, aunque en pequeña escala, a las actividades agropecuarias.

- *Cuenca hidrológica del Río Tuxpan*

Corresponde a la Región Hidrológica RH27. En la zona baja es un típico río de planicie costera con escurrimientos importantes a lo largo del año con un gasto medio de 81.6 m³/s. La zona estuarina comprende un área aproximada de 20 km, y recibe las descargas residuales municipales de la Ciudad de Tuxpan cuyo desarrollo urbano se encuentra cercano al estero y laguna de Tampamachoco, sin que haya un sistema de tratamiento para sus aguas residuales municipales. Otras fuentes de contaminación son las instalaciones petroleras, como baterías de pozos y líneas de conducción de hidrocarburos, además de los plaguicidas y fertilizantes de las grandes áreas de cultivos de cítricos. Cabe mencionar que para el área de influencia de la cuenca la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas del Estado de Veracruz recomendaba en 1990 una estrecha vigilancia de las descargas de aguas residuales de las diferentes industrias asentadas en la zona de Tuxpan, incluyendo la Termoeléctrica Adolfo López Mateos de la CFE.

- *Cuenca hidrológica del Río Tecolutla*

Comprende otra corriente de la Región Hidrológica RH27. Nace en la sierra de Puebla y atraviesa la planicie costera para descargar en el Golfo de México. Los manglares están en la cuenca baja tanto en la corriente principal como en los esteros localizados cerca de su desembocadura. La contaminación en esta cuenca se consideraba en 1990 de media a crítica debido a las descargas a los diferentes afluentes de la industria de explotación petrolera e instalaciones de petroquímica básica.

- *Cuenca hidrológica del Río Nautla*

Nace en el estado de Veracruz en el Cofre de Perote y desemboca en el Golfo de México y se localiza en la Región Hidrológica RH27. Existe un gran deterioro en la calidad del agua debido a los aportes urbanos por las poblaciones de Martínez de la Torre y San Rafael. Hay también aportes industriales de las concertadoras de jugos cítricos y un Ingenio Azucarero y aportes agropecuarios por extensos cultivos de naranja, toronja y limón persa en el área de influencia de la cuenca. La calidad del agua en el tramo Martínez de la Torre y Casitas presenta una alta contaminación observándose en algunos sitios grandes mortandades de peces y otros organismos acuáticos. El estero Ciénaga del Fuerte se conecta este sistema.

Los Ríos Nautla y Tecolutla son cortos (aproximadamente 160 km y 220 km de largo respectivamente), torrenciales, y por su origen en la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental sus tributarios alcanzan elevaciones que exceden los 3,000 m, y los canales fluyen a través de las escarpadas. Siguen su camino atravesando las colinas del piedemonte, abanicos aluviales y terrazas que se extienden a través de una baja, estrecha (~15 km) y casi-horizontal planicie costera. Los sitios que son fuente de sedimentos para los deltas Tecolutla y Nautla son terrenos principalmente volcánicos ampliamente expuestos de la cordillera de la Sierra Neovolcánica, que incluye el Cofre de Perote (4,282 m) y el Pico de Orizaba (5,747 m), que son conos andesíticos activos durante el Cenozoico.

Los sedimentos en ambas cuencas de drenaje son transportados al mar por los ríos que están fuertemente determinados por la precipitación estacional y por las inundaciones. La precipitación anual varía regionalmente desde ~1,500 mm en la planicie costera hasta 3,000 mm en las partes más altas de las montañas. La lluvia cae principalmente en verano y principios de otoño, y la más fuerte es durante agosto y septiembre.

Chen et al. (2000) establecen para el Río Nautla un área de la cuenca de drenaje de aproximadamente de 2,270 km², con un flujo del río de 1'086,000 m³/km² del área de la cuenca, contando con una descarga anual media de 2,465 x 10⁶ m³. En contraste, el Río Tecolutla es casi 3.5 veces más grande (8,080 km²) su cuenca de drenaje mientras que el flujo promedio del río por unidad de área (931,800 m³/ km²) es aproximadamente la misma que el Nautla. Esto determina que la cantidad media anual de descarga del Tecolutla es al menos 3 veces más grande que el Nautla (7,529 x10⁶

m³). Durante los periodos de secas, el flujo en la parte baja del Nautla se reduce a ~ 20 m³/s, mientras que el bajo Tecolutla es al menos 30 m³/s.

- *Cuenca hidrológica del Río Actopan*

Se ubica en la Región Hidrológica RH28A; la cuenca se puede dividir en 3 zonas, dos superficiales y una subterránea. La primera superficial se origina en el Cofre de Perote hasta que se infiltra en el subsuelo en la barranca de Actopan, aquí las aguas se encuentran altamente contaminadas por descargas municipales principalmente de las ciudades de Banderilla y Xalapa. La segunda zona comprende aguas subterráneas que se purifican por filtración y cuya calidad aceptable se constata en el manantial del Descabezadero donde nace el Río Actopan. La tercera zona, superficial, recibe la contaminación municipal de Actopan y Cardel de los dos ingenios azucareros La Gloria y el Modelo, así como residuos agrícolas de los campos cañeros. A esta cuenca se anexa la microcuenca de La Mancha – El Llano, que recibe aportes de la cuenca de la Sierra de Manuel Díaz. Además, la laguna de La Mancha puede recibir agua del Río Actopan a través del canal de riego agrícola de “Santa Rosa”.

- *Cuenca hidrológica del Río Jamapa*

Nace en la sierra de Huatusco y cuenta con aportes de un conjunto de escurrimientos que se unen al Río Cotaxtla a la altura de Medellín para desembocar al Golfo de México como parte de la Región Hidrológica RH28A. Antes de unirse al Río Cotaxtla, la contaminación es principalmente orgánica y bacteriológica. Después de su unión se incrementa la concentración de contaminantes químicos no biodegradables por el desbordamiento de las presas existentes en los campos petroleros. La laguna de Mandinga, ubicada al sureste de la desembocadura, está asociada a esta cuenca y constituye un sistema estuarino que también recibe escurrimientos del sistema de dunas de Antón Lizardo y de la planicie costera aledaña.

- *Cuenca hidrológica del Río Papaloapan*

Comprende la Región Hidrológica RH28, nace en la sierra de Oaxaca. El 51% de su extensión corresponde al estado de Oaxaca, 37% al estado de Veracruz y 12% al estado de Puebla. Los escurrimientos de sus tributarios desembocan en la Laguna de Alvarado desde donde descarga al Golfo de México. Las aguas del río se contaminan principalmente por los desechos de las industrias azucarera, papelera, cervecera, aguas negras municipales y escurrimientos de agroquímicos. El impacto ecológico y la degradación de la calidad del agua se consideran de baja magnitud y de efecto puntual.

En términos generales, el agua se encuentra completamente eutrofizada en las localidades cercanas a Tuxtepec, Oaxaca, Laguna Verde y Cosamaloapan.

Aunque administrativamente corresponde a la Región Hidrológica RH28 del Río Papaloapan, la Laguna de Sontecomapan realmente recibe escurrimientos independientes de las cuencas ubicadas al este de los volcanes San Martín Tuxtla y Santa Marta. La principal problemática asociada con el cuerpo de agua es el aporte de terrígenos por la erosión ocasionada por la deforestación de la selva para su uso del suelo en actividades agrícolas y pecuarias.

- *Cuenca hidrológica del Río Coatzacoalcos*

Nace en la sierra de Oaxaca y atraviesa al sureste del estado de Veracruz y desemboca en el Golfo de México. Corresponde a la Región Hidrológica RH29. En el corredor industrial Coatzacoalcos – Minatitlán – Cosoleacaque existe una aglomeración de más de 1.5 millones de habitantes. En Cosoleacaque – Minatitlán hay alrededor de 75 plantas industriales, 13 de ellas en Pajaritos, 20 en la Cangrejera, y 14 en Morelos, además de las industrias del sector secundario de capital privado. Esto ha repercutido en la calidad del agua del estuario encontrándose contaminado de mercurio, fenoles, cromo, plomo, grasa, aceites, hidrocarburos aromáticos y policíclicos, y detergentes en concentraciones muy altas que afectan la vida acuática. La laguna del Ostión, aunque ubicada en ésta cuenca, se alimenta de las aguas provenientes del Río Huazuntlán y recibe la influencia del Río Coatzacoalcos a través de la pluma estuarina.

Descripción de las localidades de estudio¹

1. Localidad Laguna de Tamiahua

Complejo Lagunar Pueblo Viejo

Se Localizan en el límite norte del estado de Veracruz, frontera con Tamaulipas. El bosque de manglar está asociado al cuerpo lagunar Pueblo Viejo y Lagunas del Crucero. Están conectadas por un canal ubicado al norte de la localidad de El Crucero (Pedernales) en la porción occidental de la laguna de Pueblo Viejo (Figura 10).

¹ Los mapas que se muestran en este apartado pueden ser visualizados con mayor resolución en el Anexo de Mapas que acompaña este informe final y cuya fuente es López-Portillo et al., 2011.



Figura 10. Laguna de Pueblo Viejo.

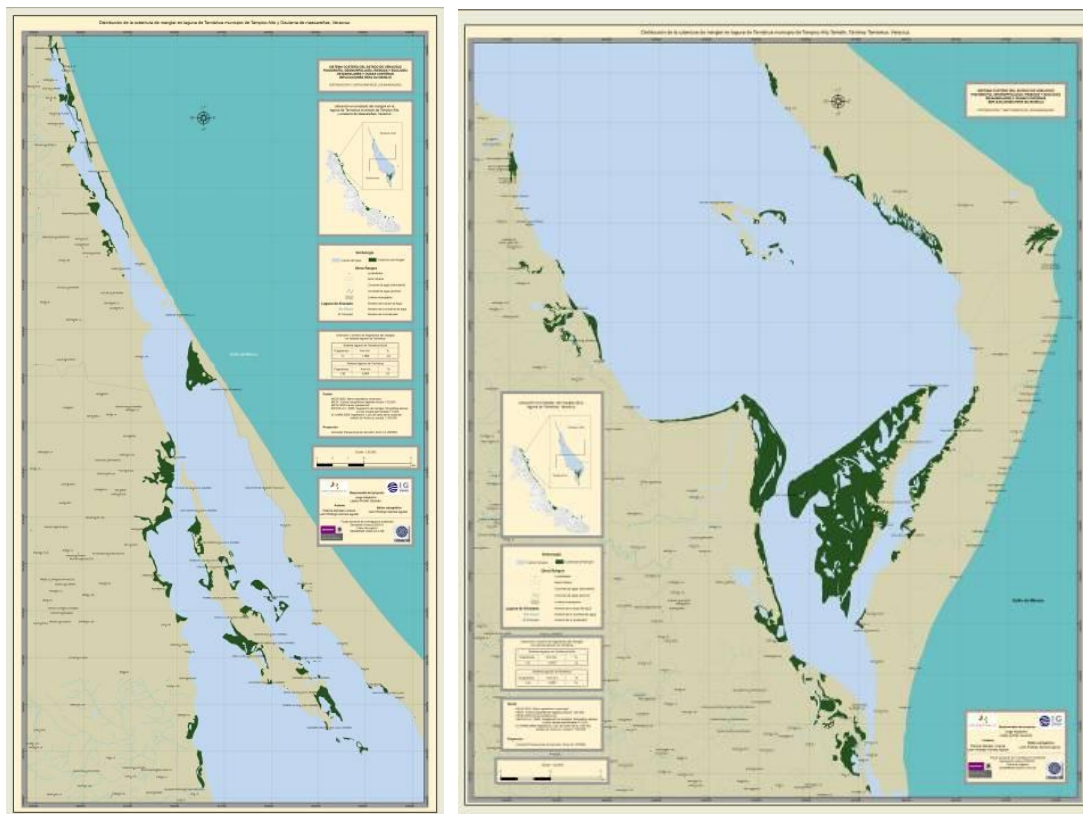
Este complejo lagunar limita al norte con la corriente del río Pánuco conectado a él en la parte oriental de la laguna de Pueblo Viejo. La laguna recibe aportes de agua dulce a través del río Tamacuil en la parte sur de la laguna.

El manglar, se localiza en forma fragmentada en las orillas de las lagunas y en las islas interiores de acumulación de conchas de bivalvos. Este complejo lagunar se desarrolla sobre planicies muy bajas y planas de relieve formado por la acumulación de sedimentos lagunares y autóctonos, es decir, sedimentos generados por la vegetación de manglar que ahí se desarrollan y recibe la influencia de aguas marinas que entran por la comunicación con el Río Pánuco durante la marea alta.

Laguna de Tamiahua

Se ubica al noreste del estado. Es la laguna costera más grande de Veracruz. El manglar se presenta en formas de fragmentos de diferente tamaño, ubicados en diferentes zonas a lo largo de sistema lagunar, tanto de la parte continental como de la isla de Cabo Rojo, además cubren en forma total o en una proporción grande las islas interiores (Figuras 11, 12 y 13).

Los bosques se desarrollan sobre planicies lodosas con suelos que van de arcilloso franco a arcillo-limoso con contenido variable de arenas, en todos ellos la materia orgánica suele presentarse en forma integrada a la matriz del suelo y su contenido suele ser de moderado a bajo; sus colores varían entre café claro, café grisáceo o gris.



Figuras 11y 12. Laguna de Tamiahua.



Figura 13. Manglar de la especie *Avicennia germinans*

2. Localidad Estero Tuxpan

El manglar del estero de Tuxpan está asociado a la corriente de agua que le da su nombre y al cuerpo lagunar Laguna de Tampamachoco (Figura 14). Limita al este con el complejo termoeléctrico de Tuxpan al sur con el Cerro de Tumilco, al oeste con los lomeríos inclinados y planicies fluviales más elevadas y al norte con el estero de Majahual.

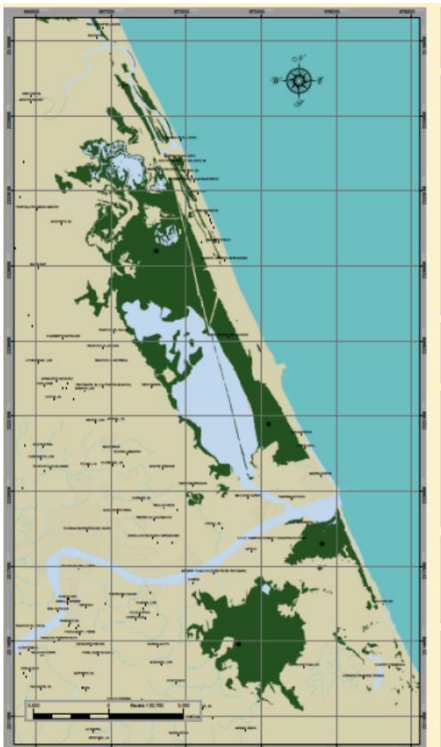


Figura 14. Laguna de Tampamachoco.

La forma de relieve en la que se desarrolla el bosque de manglar colinda al oeste con una planicie baja y procesos de erosión bajos “abrasión” y denudativos, mismos que se acumulan en el manglar, y al este con una planicie baja con procesos de acumulación que forman los cordones litorales que limitan con el Golfo de México. La colindancia con estas dos formas de relieve con mayor elevación genera los cuerpos de agua que sostienen el bosque de manglar.

Los Manglares de Tuxpan se encuentran divididos por el río Tuxpan; al norte de éste se observan los manglares de la Laguna de Tampamachoco y el canal de navegación que lo conecta con los esteros de Majahual, Tamiahua y Pueblo Viejo, al sur los manglares y humedales asociados a los esteros de Tumilco y Jácome.

3. Localidad Estero de Tecolutla

Se localiza en la porción central del estado de Veracruz. Se distribuye desde la zona urbana de Tecolutla hasta las localidades de Lázaro Cárdenas y La victoria al sur de la corriente del Río Tecolutla (Figura 15).

Se desarrolla en el plano de inundación de origen fluvio-lagunar pantanoso, con modelados de micro-relieve que permiten acumulación de sedimentos finos y medios, así como materia orgánica generada por la vegetación de manglar; con un desnivel máximo de 2 metros. Esta forma del relieve colinda al este con una planicie baja con acumulación de sedimentos de origen marino y que se conecta directamente con la zona de playa constituyendo parte del sistema de cordón litoral. La diferencia de alturas de estas formas de relieve restringe la distribución de manglar.

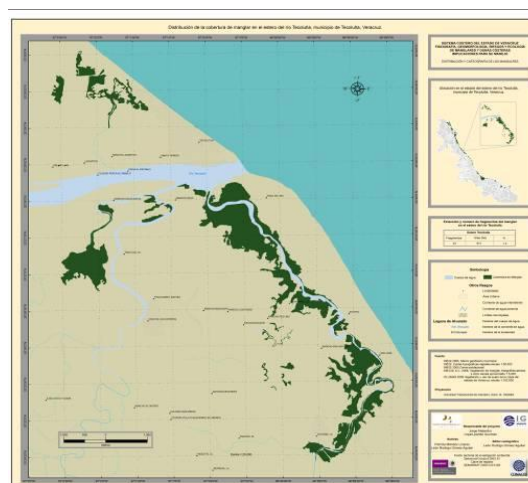


Figura 15. Estero Tecolutla.

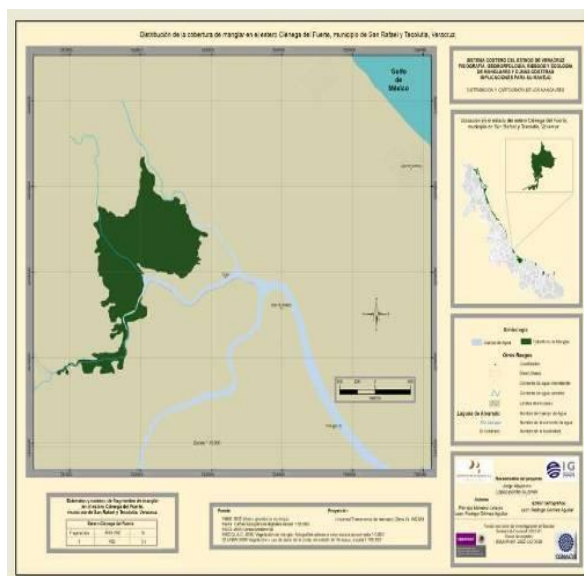


Figura 16. Ciénaga el Fuerte.

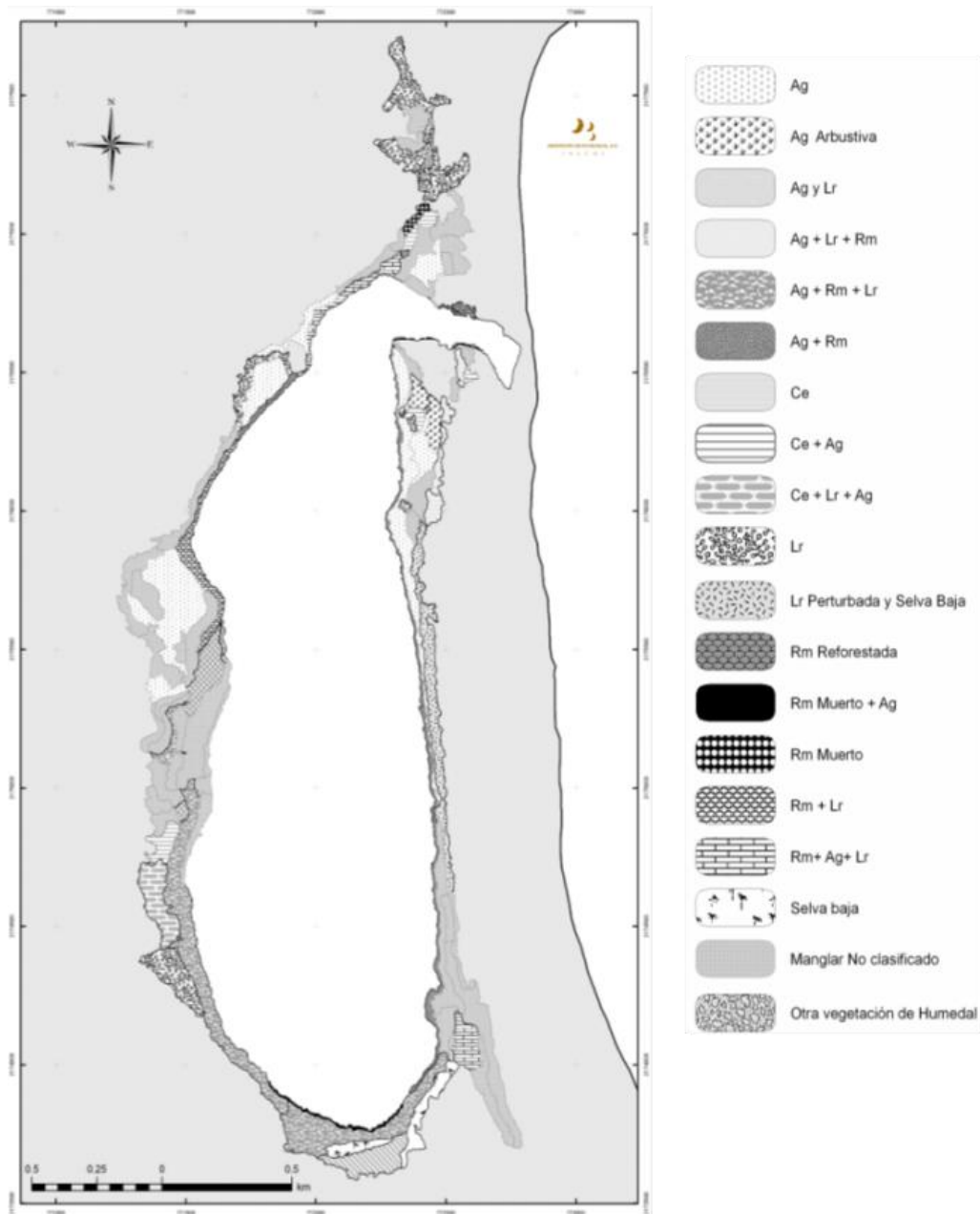


Figura 18. Distribución de comunidades de manglar en la Laguna del Llano (Bravo, 2011).

Cuadro 5. Tipos de comunidades de manglar identificados en la laguna de El Llano, área que ocupan y porcentaje del total del área. Las especies están ordenadas por grado de dominancia. *Ag*, *Avicennia germinans*; *Ce*, *Conocarpus erectus*; *Lr*, *Laguncularia racemosa*; *Rm*, *Rhizophora mangle* (Bravo, 2011).

Comunidad	Área (ha)	(%)
<i>Ag</i>	17.49	16.17
<i>Ag</i> Arbustiva	1.73	1.60
<i>Ag</i> + <i>Lr</i>	2.73	2.52
<i>Ag</i> + <i>Lr</i> + <i>Rm</i>	2.55	2.36
<i>Ag</i> + <i>Rm</i> + <i>Lr</i>	12.66	11.70
<i>Ag</i> + <i>Rm</i>	3.60	3.33
<i>Ce</i>	1.90	1.75
<i>Ce</i> + <i>Ag</i>	2.31	2.13
<i>Ce</i> + <i>Lr</i> + <i>Ag</i>	2.63	2.43
<i>Lr</i>	8.88	8.21
<i>Lr</i> Perturbada y selva costera	4.51	4.17
<i>Rm</i> Reforestada	0.36	0.33
<i>Rm</i> Muerto + <i>Ag</i>	0.42	0.39
<i>Rm</i> Muerto	0.43	0.39
<i>Rm</i> + <i>Lr</i>	2.30	2.13
<i>Rm</i> + <i>Ag</i> + <i>Lr</i>	3.29	3.04
Selva Baja	2.56	2.37
Manglar no Clasificado	36.31	33.57
Otra Vegetación de Humedal	1.53	1.41
Total	108.18	100.00

La Mancha, se encuentra entre dos formas de relieve que han contribuido a su conformación, en la porción oeste se desarrolla un planicie modelada por el curso de los escurrimientos superficiales, con alturas bajas y en la proximidad a la laguna muy bajas, con planos de inundación, como el Llano; al este por un campo de cadenas de dunas onduladas y planas, construidas por la fuerza de arrastre de los vientos, con una altura de 120 a 200 metros, esta fuerza de arrastre eólica condiciona la conexión de la laguna a través de la barra.

En la Laguna La Mancha el ciclo hidrológico es muy importante para el manglar, ya que cuando ésta tiene comunicación con el mar, el área donde se ubica el manglar se encuentra dentro del rango de mareas, afectando principalmente al manglar de borde dominado por *Rhizophora mangle* y hacia los cauces de los afluentes puede estar dominado por *R. mangle* o *Laguncularia racemosa* dependiendo de la profundidad y los aportes de agua dulce. Pero cuando la boca de conexión está cerrada la planicie lodosa se inunda con los aportes superficiales de agua que recibe del Caño Grande y de cinco arroyos intermitentes alcanzando la columna de agua una profundidad promedio

aproximada de 0.5 m por arriba del nivel máximo de la marea. La dinámica de la laguna le permite al manglar tener una distribución amplia en la porción sur de la misma (Figura 19, Cuadro 6).

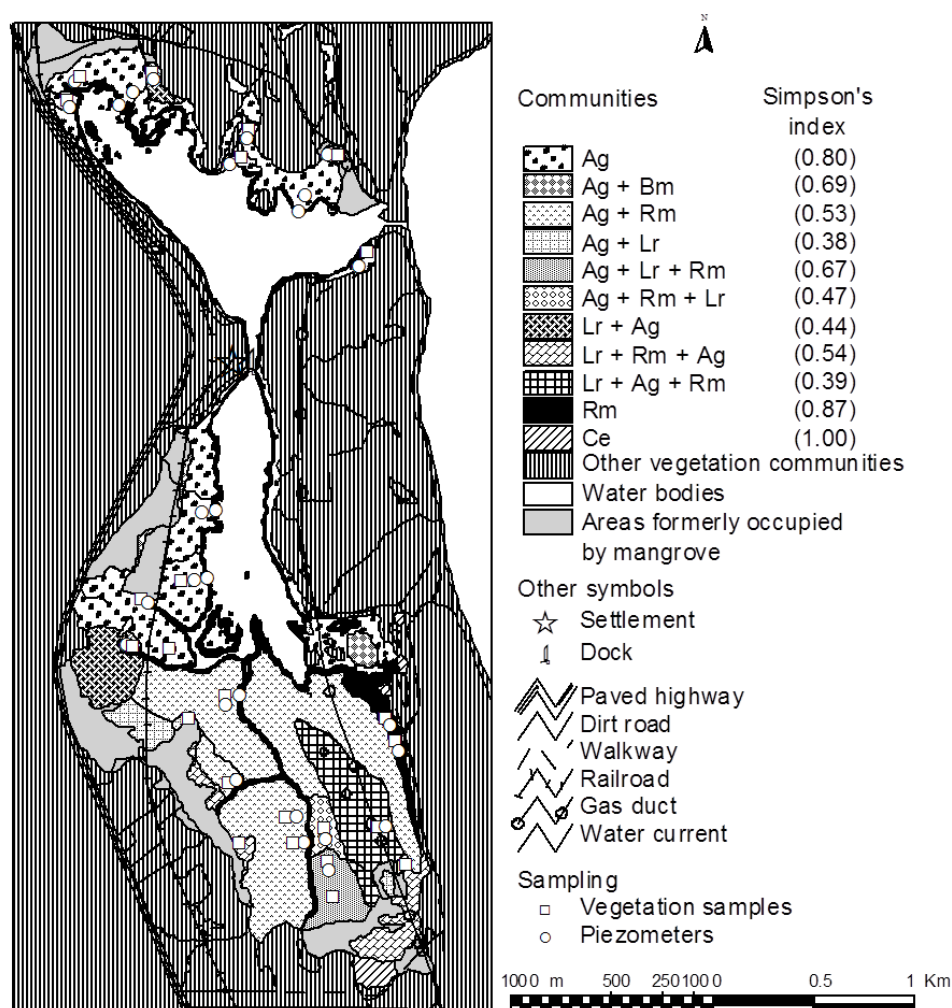


Figura 19. Distribución de comunidades de manglar en la Laguna de La Mancha (Hernández-Trejo 2009).

El manglar se encuentra en buen estado; no obstante, de los efectos negativos debido a las obras de Petróleos Mexicanos (PEMEX) en el área. La especie dominante es *Avicennia germinans* registrándose tanto en comunidades monoespecíficas como mixtas. También se identifican comunidades dominadas por *Laguncularia racemosa* e incluso de *Rhizophora mangle* o *Conocarpus erectus* con la presencia de *A. germinans*. La dominancia de *Avicennia germinans* en La Mancha es un indicador de la periodicidad de inundación debido a la dinámica de la boca de conexión.

Cuadro 6. Tipos de comunidades de manglar identificados en la laguna de La Mancha, área que ocupan y porcentaje del total del área. Las especies están ordenadas por grado de dominancia. *Ag*, *Avicennia germinans*; *Bm*, *Batis maritima*; *Ce*, *Conocarpus erectus*; *Lr*, *Laguncularia racemosa*; *Rm*, *Rhizophora mangle* (Hernández-Trejo et al. 2006).

Comunidad	Área (ha)	(%)
<i>Ag</i>	91.1	27.1
<i>Ag+Bm</i>	4.9	1.5
<i>Ag+Rm</i>	99.9	29.8
<i>Ag+Lr</i>	8.5	2.5
<i>Ag+Lr+Rm</i>	11.3	3.4
<i>Ag+Rm+Lr</i>	5.6	1.7
<i>Lr+Ag</i>	16.3	4.9
<i>Lr+Rm+Ag</i>	13.6	4.1
<i>Lr+Ag+Rm</i>	44.9	13.4
<i>Rm</i>	35.3	10.5
<i>Ce</i>	4.1	1.2
Total	335.5	100.0

5. Localidad Laguna de Mandinga

La vegetación está conformada por manglar y algunas áreas domina la vegetación halófila (*Batis marítima* y *Salicornia bigelovii*; Figura 20). En esta localidad se registraron *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, identificándose dos tipos de manglar:

Tipo borde ubicado en la orilla de la laguna y dominado por *R. mangle* con presencia de *A. germinans*. Tipo cuenca formado por comunidades monoespecíficas y mixtas dominadas por *A. germinans*, así como mixtas dominadas por *L. racemosa*.

En el sector norte de la laguna se ubica una asociación mixta con individuos distribuidos en forma discreta de *L. racemosa*, *Pachira aquatica* y *Annona glabra* con algunos individuos de *R. mangle* y *A. germinans*. Asimismo, se registraron individuos del helecho *Acrostichum aureum* y *Rhabdadenia biflora* así como algunos elementos de selva como *Acacia cornígera*, *Ficus* spp., e *Inga* spp.

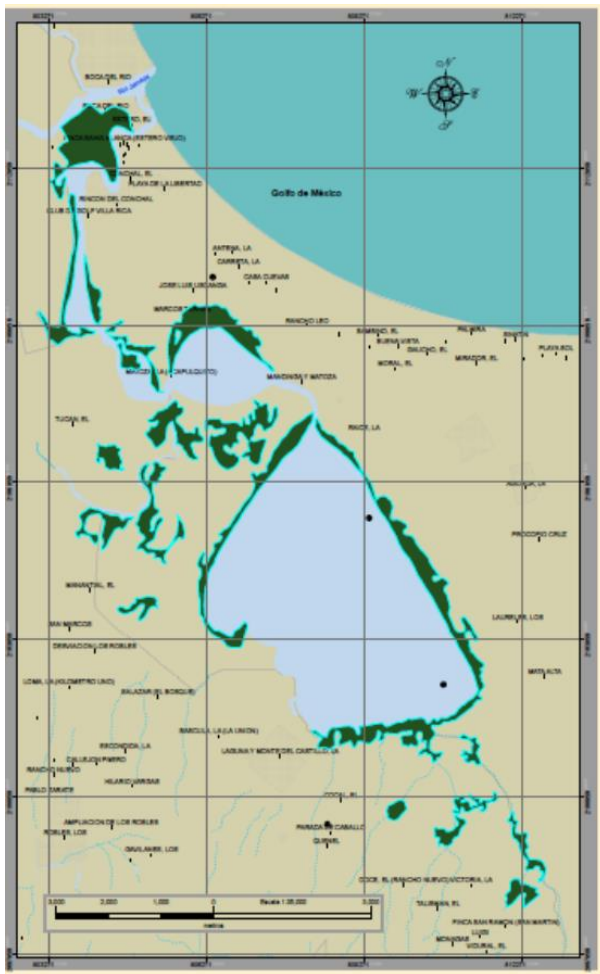


Figura 20. Laguna de Mandinga.

6. Localidad Sistema Lagunar de Alvarado

Es una gran planicie de inundación ubicada en el sector central del estado, y comprende un complejo sistema lagunar estuarino compuesto por lagunas costeras salobres entre las que destacan Alvarado, Buen País, Camaronera, lagunas interiores como Tlalixcoyan, Las Pintas entre otras más, así como diferentes ríos que descargan sus aguas en el Golfo de México como Papaloapan, Acula, Blanco y Limón (Figura 21).

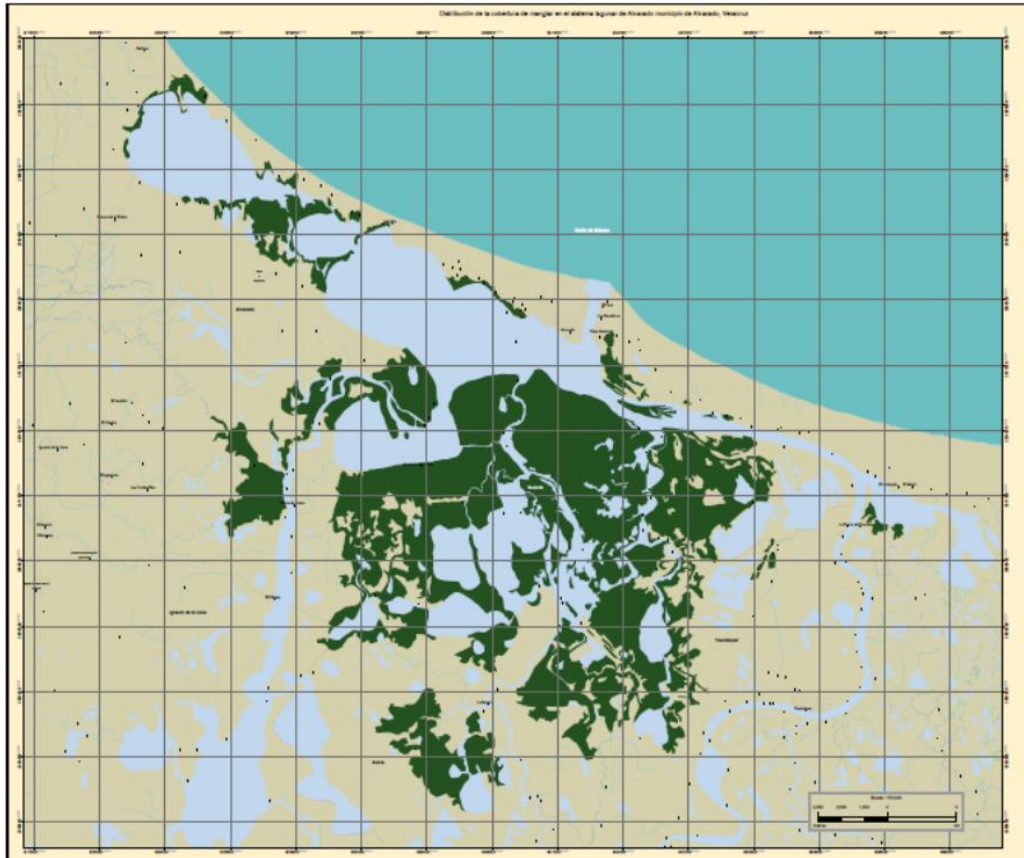


Figura 21. Sistema Lagunar de Alvarado.

Las asociaciones de manglar son muy complejas dada la alta heterogeneidad ambiental a causa de su extensión y amplia diversidad de su paisaje que se refleja en su hidroperiodo, aportes de agua dulce y las variaciones en salinidad que en general son relativamente bajas en la mayor parte del extenso sistema. Las especies que dominan la mayor parte de las comunidades son *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*.

7. Localidad Laguna Sontecomapan

La laguna de Sontecomapan se localiza al sur del estado de Veracruz (Figura 22). El bosque de manglar se ubica al norte de la localidad de Sontecomapan.

La laguna de Sontecomapan se desarrolla en una planicie de acumulación muy baja con sedimentación de materiales finos arrastrados por las corrientes superficiales sobre los planos de inundación.

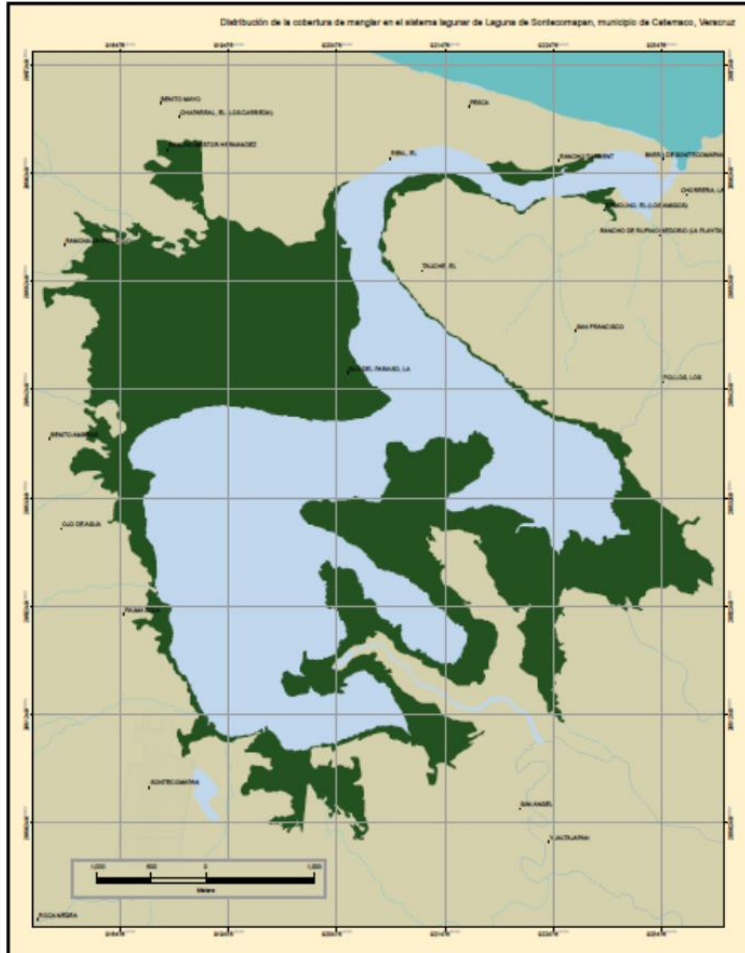


Figura 22. Laguna de Sontecomapan.

Los bosques de manglar se desarrollan sobre los planos de inundación con relieves formados por procesos de acumulación de sedimentos de arrastre, con microrelieves de pantanos con sedimentos autóctonos.



Figura 23. *Rhizophora mangle*

Al oeste de la desembocadura de la laguna se desarrolla un relieve de dunas costeras formado por la acción de arrastre de arena por la fuerza de los vientos. Esta formación geomorfológica restringe la comunicación de la laguna a una barra arenosa alargada con dirección O-E. Los manglares se desarrollan principalmente sobre planicies lodosas con suelos de tipo arcilloso con contenidos variables de materia orgánica (Figura 23).

8. Localidad Laguna del Ostión

La laguna del Ostión se localiza al sur del estado de Veracruz, al este del estero Coatzacoalcos (Figura 24).

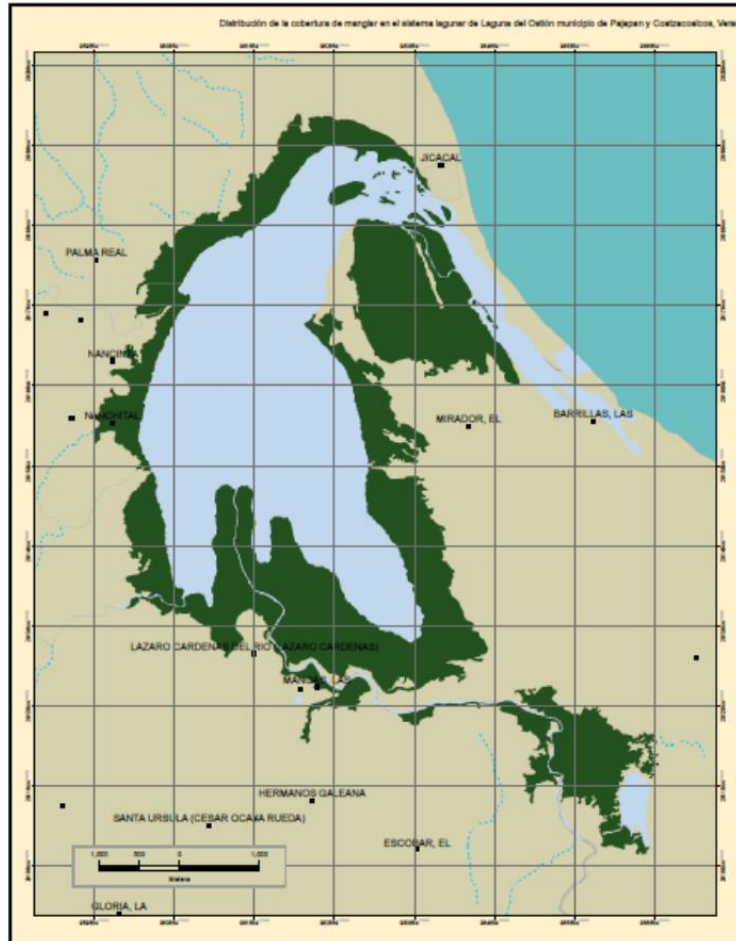


Figura 24. Laguna de Ostión.

Forma parte de la Región Terrestre Prioritaria 131 Sierra de los Tuxtlas Laguna del Ostión, Región Hidrológica Prioritaria 80 Los Tuxtlas y del Área Prioritaria Marina 51 Los Tuxtlas de la CONABIO (Arriaga et al. 1998, 2000 y 2002).

Esta laguna tiene comunicación permanente con el mar y recibe la descarga de los ríos Huazuntlán, Tatahuicapan, Temoloapan y Agachapa, además de otros escurrimientos de menor importancia.



Figura 25. *Avicennia germinans* gigante

Los manglares se desarrollan sobre planicie lodosa conformada por sedimentos del tipo arcilloso (Figura 25).

Este manglar presenta inundación periódica de dos tipos, diaria por efecto de las mareas, la cual ocurre en las áreas de la costa de la laguna y estacional, por efecto de los aportes continentales, por las mareas de tormenta o los nortes que desbordan el cuerpo de agua abarcando la laguna su nivel de aguas máximo

Los suelos sobre los que se desarrolla el bosque son en su mayoría arcillosos, y van de francos hasta limo arcillosos, en ellos la materia orgánica se presenta integrada a la matriz del suelo. Una excepción son los suelos de la parte suroeste, donde los suelos son arcillosos con altos contenidos de materia orgánica e incluso se pueden encontrar histosoles; los colores de los suelos van de café rojizo a café oscuro.

En esta laguna los manglares se ubican en los alrededores del cuerpo de agua y se extienden hacia las llanuras lodosas aledañas a este, principalmente a la porción este en las inmediaciones del Río Huazuntlán que es el principal afluente de la laguna.

METODOLOGÍA

El Proyecto KN002, es la continuación del seguimiento de los procesos y características de los ecosistemas de manglar en el estado de Veracruz a lo largo de un gradiente latitudinal, bajo dos aproximaciones: temporal y espacial. De acuerdo al marco de referencia de la EPA (*Environmental Protection Agency*, EUA), en el primer caso se requiere contar con datos durante un periodo que integre épocas climáticas y eventos de gran escala (huracanes, sequías, ENSO) para definir el intervalo de variabilidad y obtener valores de referencia de los indicadores. Para esto, se establecieron sitios “tipo” y así continuar con 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 a escenarios ambientales similares.

Un indicador se define como una señal de la condición social/ambiental que puede requerir investigación adicional o remediación. Los indicadores ambientales de calidad son monitoreados para diferentes propósitos: para ganar información sobre el estado y tendencia del ecosistema, o para proveer criterios de monitoreo.

La estructura, composición, productividad y exportación de detritus de acuerdo a condiciones hidrológicas y de sedimentos tienen efectos en el funcionamiento, tipología y condición de los manglares (Twilley y Day, 1999), por lo que siguiendo la estrategia espacial referida anteriormente se hará una redimensión de las parcelas fijas para que cubran un área de 20 m x 20 m en sitios con las características estructurales y ecológicas de referencia para disminuir los errores de identificación en las imágenes de satélite de elementos estructurales presentes en el manglar.

A continuación, se presentan los métodos que se emplearon en la presente etapa del proyecto.

Caracterización biológica y ambiental

- *Caracterización de la vegetación*

En la primera etapa de desarrollo del Proyecto FN007 (2009-2012) se establecieron ocho localidades a lo largo de la zona costera del Estado de Veracruz, en esta segunda etapa del Proyecto de Monitoreo se mantienen las mismas ocho localidades. Para cada localidad hay dos sitios de estudio y en cada sitio hay dos parcelas, una por tipo fisonómico (borde con dominancia de *Rhizophora mangle* y planicie lodosa o interno o de cuenca con dominancia de *Avicennia germinans*; como se muestra en el Cuadro 7). En total se monitorean 33 parcelas, en el sitio El Llano solo se tiene acceso a la parcela del manglar interno ya que el manglar de borde con dominancia de *Rhizophora mangle* el acceso está restringido o bien se encuentra invadido por asentamientos humanos irregulares. Además, se incluye en Alvarado un sitio más (Laguna Socorro) en respuesta a la solicitud de PRONATURA para dar seguimiento a las áreas de manglar que están seleccionando para la recuperación del ecosistema en el Sistema Lagunar de Alvarado, en un esquema de áreas privadas de conservación con el propósito de tener un punto de comparación con los otros dos sitios. En cada una de las 33 parcelas de 20m x 20 m se incluye una parcela de 10 m x 10 m que se implementó en la primera etapa del proyecto monitoreando los individuos adultos (Figura

26). En el Archivo Excel denominado Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx se presentan las coordenadas de las parcelas implementadas de acuerdo a los términos de referencia establecidos por la Dirección General de Geomática de la CONABIO. Inicialmente, los vértices de cada parcela se midieron con un Garmin GPS 72. Sin embargo, la recepción de este aparato debajo del dosel era muy difícil y tomaba mucho tiempo medir cada vértice y en algunas parcelas no se tuvo éxito para obtener las coordenadas, por lo que se optó por adquirir un nuevo equipo un GPS MobileMapper 20 (Spectra Precision) que garantiza su recepción debajo del dosel reduciendo el tiempo de medición y mayor precisión de las coordenadas de cada vértice.

La parcela de 20 m x 20 m constituye la unidad de muestreo donde se caracteriza la estructura de la vegetación (especie, DAP, altura). Dentro de esta, se encuentra la parcela de 10 m x 10 m, donde se asocian los piezómetros, trampas de hojarasca, trampas de raíces y donde se obtuvo la muestra de suelo para las determinaciones químicas. Por otro lado, en las parcelas de repetición, que se instalaron en la primera etapa del proyecto y que aún se monitorean, únicamente se caracterizó la estructura de la vegetación.

Para la determinación de los atributos estructurales del manglar se siguieron los criterios sugeridos por Cintrón y Schaeffer-Novelli (1983) como son: diámetro a la altura de pecho (DAP), área basal, densidad, altura, índice de complejidad, y adicionales como índice de valor de importancia, frecuencia de tallas y regeneración potencial.

Cuadro 7. Localidades de manglar en estudio indicando sitio, tipo, geoforma y fisionomía del manglar. Se indican las localidades con las parcelas fijas de monitoreo de 20 m X 20 m, repeticiones de 10m x 10m y donde hay SET's (*Surface Elevation Table*).

Localidad	Sitio	Tipo	Geoforma	Fisionomía	KN002		SET	FN007
					Parcela 20m X 20m	Parcela 10m X 10m		Parcela 10m X 10m
Tamiahua	Pueblo Viejo	Borde	Fluvial	Franja	1	1	1	2
	Pueblo Viejo	Interno	Fluvial	Cuenca	1	1	1	2
	Tamiahua	Borde	Lacustre	Franja	1		1	1
	Tamiahua	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
Tuxpan	Tumilco	Borde	Palustre	Franja	1	1	1	2
	Tumilco	Interno	Palustre	Cuenca	1	1	1	2
	Tampamachoco	Borde	Lacustre	Franja	1		1	1
	Tampamachoco	Interno	Lacustre	Cuenca	1		1	1
Tecolutla	Tecolutla	Borde	Fluvial	Ribereño	1	1		2
	Tecolutla	Interno	Fluvial	Cuenca	1	1	1	2
	Nautla	Borde	Fluvial	Franja	1	1	1	2
	Nautla	Interno	Fluvial	Cuenca	1	1	1	2
La Mancha - El Llano	La Mancha	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
	La Mancha	Borde	Lacustre	Franja	1	1	1	2
	El Llano	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
Mandinga	Mandinga Grande	Borde	Lacustre	Franja	1	1	1	2
	Mandinga Grande	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
	Mandinga Chica	Borde	Lacustre	Franja	1	1	1	1
	Mandinga Chica	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
Alvarado	Laguna Baja	Borde	Fluvial	Ribereño	1	1	1	2
	Laguna Baja	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
	Boca Júpiter	Borde	Fluvial	Franja	1	1	1	2
	Boca Júpiter	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
	Socorro	Borde	Fluvial	Franja	1		1	
	Socorro	Interno	Lacustre	Cuenca	1		1	
Sontecompan	Cacahuate	Borde	Palustre	Franja	1	1	1	2
	Cacahuate	Interno	Lacustre	Cuenca	1	1	1	2
	Costa Norte	Borde	Lacustre	Franja	1	1		2
	Costa Norte	Interno	Palustre	Cuenca	1	1		2
El Ostión	Huazuntlan	Borde	Lacustre	Ribereño	1	1	1	2
	Huazuntlan	Interno	Fluvial	Cuenca	1	1	1	2
	Metzapan	Borde	Fluvial	Franja	1		1	2
	Metzapan	Interno	Fluvial	Cuenca	1		1	2
TOTAL					33	26	30	58

***Nota:** en 2009 –Proyecto FN007- en algunos sitios solo se instaló una sola parcela de 10 m x 10 m, porque ya incluía más de 30 individuos de manglar (manglar de borde en Tamiahua y Mandinga Chica y en Tampamachoco manglar de borde e interno). En el redimensionamiento de las parcelas en 2013 –Proyecto KN002-, en algunos sitios, la parcela de 20m x 20m abarcó las dos parcelas de 10m x 10m porque se encontraban juntas por lo que no hay parcela de repetición de 10m x 10m como es en la localidad de Metzapan en el manglar interno y de borde (ver sección de resultados).

No se colocó SET en Costa Norte porque el suelo tiene una capa de materia orgánica muy grande que imposibilita su instalación adecuada, tampoco en Boca de Júpiter porque ha sido una de los sitios con una alta frecuencia de pérdida de equipo. En Tecolutla borde no fue posible hincar el tubo de aluminio a más de 2 metros, y el SET de Laguna Baja está incompleto (sin tubo-base del SET).

Descripción de variables:

- **Diámetro a la altura de pecho (DAP):** 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-Novellii (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). 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):** indica el valor de las especies respecto a todas las que están presentes en la localidad (frecuencia relativa + densidad relativa + dominancia relativa).

- **Frecuencia de tallas:** Para representar la distribución de diámetros de la comunidad del manglar durante el tercer año, se utilizará 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 $N = \text{Número de individuos}$

- **Regeneración potencial:** en las parcelas de 10 m x 10 m, se denominaron como 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 (Figura 26).

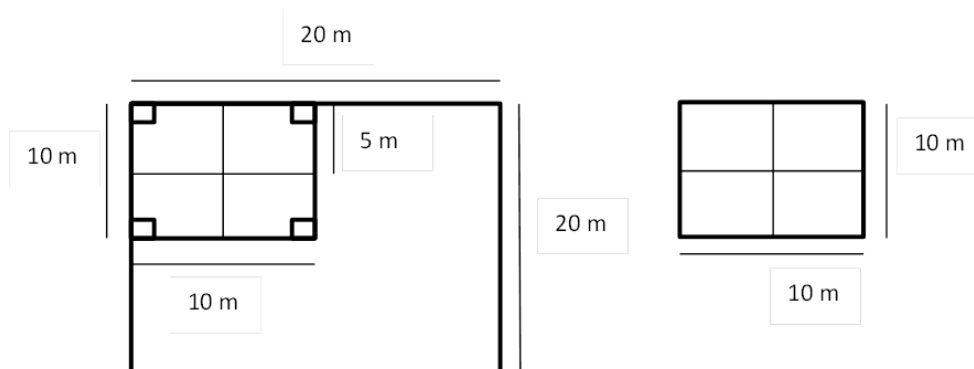


Figura 26. Diseño de parcelas de 20 m x 20 m que constituye la unidad de muestreo se realizó la caracterización de la estructura de la vegetación al inicio y otra al final del proyecto. Dentro de esta, se incluye a la parcela de 10 m x 10 m que se implementó en la primera etapa y donde se han monitoreado 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.

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

- **Densidad:** mediante el conteo por especie de todos los organismos (plántulas y juveniles) presentes dentro de los cuadrantes.
- **Altura:** a cada organismo de cada especie se medirá con una regla de 1 m.

Los juveniles de cada especie se etiquetaron con placas de aluminio mientras que las plántulas solo se contaron en cada parcela de 1 m x 1 m, para darles seguimiento anual y monitorear la supervivencia.

Análisis de datos:

La información y análisis de cada variable, por localidad, sitio y época, permitió obtener la caracterización de la estructura del manglar.

Identificación y evaluación de indicadores

A través del monitoreo de cada variable en el contexto ecológico, de impacto y uso para cada sistema se evaluó la tendencia del o de los indicadores que mejor describen la condición del sistema en una localidad determinada. La selección de los indicadores tiene como criterios que sean de fácil medición, que se correlacionen con otras variables cuyos análisis sean técnicamente más sofisticados, esto para asegurar la robustez de la variable indicadora.

Caracterización ambiental

- *Reguladores del suelo*

En la primera fase del proyecto, se instalaron 4 tubos de PVC, dos a 0.5 m y dos a 1.2 m asociados a la parcela de 10m x 10 m, de estos se obtuvieron muestras de agua subsuperficiales (nivel freático). Para esta fase de continuación, se instalaron tubos de PVC de 3 pulgadas, pero con perforaciones transversales cada 5 cm desde la base inferior hasta 40 cm por debajo del nivel del suelo. Hemos probado esta metodología y resulta muy conveniente porque es posible estudiar la estratificación del manto freático. La profundidad de los tubos de PVC depende de los valores mínimos del nivel de manto freático, que puede tener un máximo de 2 metros por debajo del nivel del suelo.

Durante el muestreo mensual de agua intersticial, se midió el nivel del agua dentro del piezómetro y se colectó agua tanto de la superficie como del fondo (10 cm por arriba del nivel máximo de profundidad 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). Estas mediciones mensuales coincidieron con la colecta de hojarasca. Además, se colectaba y medían los mismos parámetros en el agua de inundación cuando ésta estaba disponible.

En los sedimentos que componen el suelo del manglar, se continuó con las mediciones a nivel de las raíces (≈ 15 cm de profundidad). Además, se tomaron 250 g de muestra

de suelo en la parte central de las parcelas ubicadas en cada sitio de estudio para determinar su densidad aparente y la materia orgánica.

- *Recursos del suelo*

Se colectaron muestras de sedimentos en cada sitio y localidad 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. Para facilitar la inserción de los tubos en el suelo, se afilo el extremo a introducir y para una cómoda extracción se implementó una agarradera haciendo dos agujeros diametralmente opuestos, a 2 cm del bordo superior, donde se introdujo una varilla.

Una vez extraído el tubo con la muestra fue llevado al laboratorio donde por medio de una cortadora de disco se seccionó longitudinalmente en lado opuesto el tubo para acceder a la muestra de suelo. La muestra posteriormente se seccionó longitudinalmente en su diámetro.

- *Descripción del perfil de suelo*

Para la descripción del perfil de suelo se secciona longitudinalmente la muestra con un cuchillo con sierra trozando las raíces que se pudieran presentar a lo largo del corte. Se limpia cuidadosamente la superficie interna de ambas mitades a fin de permitir una observación de los diferentes estratos que componen el perfil (INEGI 2005; FAO 2009).

- A partir de las modificaciones los colores y tonalidades, así como en las texturas de la muestra se identifican los estratos que la componen y se marcan los límites de cada una de las capas encontradas. A continuación, la descripción del protocolo:
- Se mide, a partir de la superficie, el ancho del estrato,
- Con ayuda de una tabla de colores de Munsell para cada estrato se identifica la clave del color y adicionalmente se puede indicar el nombre asignado dentro de esta clasificación a dicho color.
- A través del tacto la del suelo se identifica textura del estrato que puede ir desde arenas, limos, arcillas o sus combinaciones.
- Se observa si existe la presencia de mancha motas y/o grumos, se anota el color de los mismos y se le asigna un valor semi-cuantitativo en función de su abundancia de cada uno de ellos: 0 = -; + = muy escasas, ++ = pocas, +++ = abundantes y++++ = muy abundantes.

- Al mismo tiempo identifica en cada estrato la presencia de raíces finas, secundarias y de cable, y se les asigna un valor de abundancia semi-cuantitativa de manera similar a la utilizada para las manchas, motas y grumos. Finalmente, si se requiere se puede anotar alguna observación a la alguna característica observada en la muestra.

Para la determinación química del fósforo extractable se realizó a través del método de Olsen que utiliza como extractante una solución de bicarbonato de sodio al 0.5 M.

Para la determinación de C y N se llevó a cabo a través de un multianalizador elemental Marca Leco Co. Modelo Truspec CN del Instituto de Ecología, A.C. El sistema se basa en el método de combustión de Dumas. La incineración de la muestra ocurre en un horno primario a 950° C en un ambiente libre de gas atmosférico y alimentado con oxígeno puro para una rápida combustión. Los productos de combustión se determinan mediante el paso de los gases a través de detectores infrarrojos para carbono y de un detector de conductividad térmica para nitrógeno. El rango de detección es: carbono 0.005% a 50% y nitrógeno 0.008% a 100% con una precisión de 0.5% para ambos elementos y una resolución de 0.0001. El equipo utiliza como gas acarreador Helio de alta pureza 99.99% a 35psi +/- 10% y para la combustión Oxígeno a 99.99% a 35psi +/- 10% [http://www.lecouk.com/PDF/TruSpec%20\(209-150-001\).pdf](http://www.lecouk.com/PDF/TruSpec%20(209-150-001).pdf). Para la conversión de carbono a materia orgánica se utilizará el factor de 1.724 de Vans de Benmelen. Este factor resulta de la suposición de que la materia orgánica contiene un 58% de carbono (Aguilar 1988).

La determinación de pH 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 mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla en una relación suelo: agua 1:2.

La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociada con el potencial de unión, entre otros.

- *Determinación de densidad aparente*

Con ayuda de un cilindro graduado de volumen conocido el cual puede ser elaborado con una jeringa de 10 centímetros cúbicos (cm³). Se obtienen tres sub-muestras de suelo de 5 cm³ de los estratos superior, medio e inferior. Cada muestra se pesa y por separado se pone a secar durante 72 horas a 60° C en estufa de aire. Una vez secada cada sub-muestra es pesada por separado en una balanza analítica. Con la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco se determina el contenido de humedad de cada sub-muestra el cual puede ser promediado para determinar el contenido en el estrato. Del total de los pesos secos se obtiene la densidad aparente de la siguiente formula:

Densidad aparente (g/cm³) = peso seco de la sub-muestra (g) / volumen de la sub-muestra (cm³)

Con los resultados obtenidos de cada sub-muestra se puede obtener el valor promedio de la densidad aparente para cada sustrato.

Ecología

La productividad del bosque se evaluó a través de la biomasa producida por especie en las diferentes partes de los árboles. Mensualmente se ha medido la caída de hojarasca colectada a través de las trampas instaladas en todas las localidades desde 2009 a la fecha. En el laboratorio, el material colectado de las trampas se secó, separándolo por las partes vegetales que lo componen (hojas, estípulas, tallos, flores y otras partes florales, propágulos por especie) para determinar la proporción aportada por cada una de estas partes (López-Portillo y Ezcurra 1985).

Se evaluó la productividad de raíces finas mediante la obtención de muestras de suelo a través de trampas de raíces finas colocadas cuando se hizo la caracterización de la estructura del manglar en las diferentes localidades / sitios / geoformas. Para tal efecto se colocaron 3 trampas de tela de mosquitero y 2 kg de arena para estimar la productividad de raíces finas (Castañeda-Moya 2011). Además, se colectaron con tubos de PVC de 50 cm de largo muestras de suelo que se enterraron. En el laboratorio se cortaron longitudinalmente para obtener las muestras lo más intactas. Cada muestra se separó por tipo de horizonte (superficial turba /fondo arcilloso) y se puso en remojo con agua de 3-5 días. Las raíces fueron recuperadas mediante el lavado de los suelos con agua corriente pasándolos por un tamiz de malla #60 (aperturas por pulgada lineal). Las raíces limpias se guardaron en bolsas de papel etiquetadas y se secaron a peso constante en estufa a 70° C. Posteriormente, las raíces secas fueron separadas en tres

diámetros funcionales: raíces de cable o gruesas (>5 mm de diámetro) con el tamiz #5, raíces secundarias o medianas (> 2 < 5 mm) con el tamiz #10 y raíces finas de absorción (<2 mm) con el tamiz #60. Otros componentes de la biomasa encontrados en las muestras se clasificaron en: hojas, madera y caracoles. El peso seco constante de todos los elementos de la biomasa se registró con una balanza Scout Pro 200 g OHAUS. El crecimiento de los troncos al sistema se evaluó mediante la instalación de bandas dendrométricas. Mientras que el aporte de la biomasa de los troncos se consideró el DAP de los individuos y se calculó la ecuación alométrica con los coeficientes calculados por Day et al. (1987; Cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes de regresión usados para estimar la biomasa en pie arriba del suelo. Las ecuaciones son de la forma $\ln Y = A + B \ln X$, con Y = peso seco (kg), X = DAP (cm^2), y r^2 = porcentaje de varianza explicado por la regresión (Day et al. 1987).

Especie	Componente vegetal	A	B	r^2
<i>Avicennia germinans</i>	Tronco	-2.0199	2.4399	97
	Ramas	-2.5845	1.8200	84
	Total	-1.5852	2.3023	97
<i>Laguncularia racemosa</i>	Tronco	-2.0794	2.3861	99
	Ramas	-2.9622	1.7299	68
	Total	-1.5919	2.1924	97
<i>Rhizophora mangle</i>	Tronco	-1.9122	2.4120	93
	Ramas	-2.8633	2.3286	90
	Raíces	-4.4565	3.1828	83
	Total	-1.5605	2.5072	94

RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros monitoreados durante los tres años de desarrollo del proyecto. En las gráficas de la caracterización de la estructura se presenta una comparación entre las evaluaciones de 2013 y 2016. Para los parámetros del agua intersticial se presenta el período de monitoreo desde junio de 2013 a agosto de 2016 y para la producción primaria (análisis de hojarasca) desde junio 2013 para algunos sitios hasta julio de 2016 para todos los sitios y localidades. Por tanto, se actualiza la base de datos hasta esta etapa de desarrollo del Proyecto KN002 en el archivo de Excel Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx. Durante el primer año del proyecto (2013) los datos de los parámetros de Reguladores del Suelo y Hojarasca de algunas parcelas no se presentan debido a imprevistos que se muestran en el cuadro 9. Así como también a lo largo de ejecución del proyecto se han presentado dificultades que han impedido las mediciones en cada parcela.

Cuadro 9. Sitios dónde no se obtuvieron datos durante el período de monitoreo. Al pie de cuadro se indica el significado de cada letra. De la A hasta E para Reguladores del Suelo y, F, G y H para Hojarasca. Las letras minúsculas indican el manglar de borde (**b**) y el interno (**i**). Los números corresponden a los meses del año.

[illegible]

A Parcelas no establecidas por mal tiempo; B Piezómetro seco o nivel de agua muy bajo; C Sitio inundado; D Tubo despegado y tapado por lodo; E Tubos robados; F canastas robadas; G Sitio inseguro.

Caracterización de la vegetación

En el cuadro 10 se muestra el total de árboles marcados con placas de aluminio para cada una de las localidades, sitios y geoformas. Las parcelas en Tumilco de manglar de borde y manglar interno se encuentran próximas; sin embargo, en la metodología se estableció que para cada localidad hay dos sitios de estudio y en cada sitio hay dos parcelas, una por tipo fisonómico (borde con dominancia de *Rhizophora mangle* y de planicie lodosa o interno o de cuenca con dominancia de *Avicennia germinans*) caracterizando cada parcela. Además, la parcela de borde en Tumilco está asociada a un caño. Es importante destacar que la caracterización de la vegetación se realizó de junio de 2013 y mayo de 2014. La segunda caracterización se llevó a cabo en 2016, y por problemas de inseguridad, la parcela de manglar interno en Boca de Júpiter no se realizó en el segundo censo en 2016, por lo cual no aparece en las bases de datos de estructura en el archivo Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx.

Cuadro 10. Se muestra el número de árboles censados en 2013 y 2016, marcados con placas de aluminio que se encuentran en las parcelas de 20m x 20m (adultos, perímetro > de 8 cm), en la de 10m x 10m (juveniles perímetro < 8 cm y altura > 50 cm) y parcela de 1m x 1m (plántulas, altura <50 cm).

Localidad	Sitios	Geoformas	2013			2016			Total	
			Adultos de > 8 cm perímetro	Juveniles de < 8 cm perímetro	Plántulas	Adultos de > 8 cm perímetro	Juveniles de < 8 cm perímetro	Plántulas	Árboles marcados 2013	Árboles marcados 2016
Pueblo Viejo - Tamiahua	Pueblo Viejo	Borde	54	0	24	39	0	0	54	39
	Pueblo Viejo	Interno	30	29	2	27	4	0	59	31
	Tamiahua	Borde	88	4	0	80	5	0	92	85
	Tamiahua	Interno	46	0	36	46	0	0	46	46
Tumilco - Tampamachoco	Tumilco	Borde	30	20	15	32	17	0	50	49
	Tumilco	Interno	77	5	0	73	6	0	82	79
	Tampamachoco	Borde	103	31	6	99	28	0	134	127
	Tampamachoco	Interno	122	31	10	142	20	0	153	162
Tecolutla - Nautla	Cueva del Pirata	Borde	57	0	0	46	0	0	57	46
	Cueva del Pirata	Interno	118	12	0	109	14	0	130	123
	Giénega del Fuerte	Borde	53	37	0	61	25	0	90	86
	Giénega del Fuerte	Interno	108	6	3	95	5	0	114	100
La Mancha - El Llano	La Mancha	Borde	48	14	3	49	10	0	62	59
	La Mancha	Interno	25	2	0	27	0	0	27	27
	El Llano	Interno	69	93	3	68	90	0	162	158
Mandinga	Mandinga Grande	Borde	86	68	19	83	33	0	154	116
	Mandinga Grande	Interno	29	10	9	30	10	0	39	40
	Mandinga Chica	Borde	70	219	50	72	145	0	289	217
	Mandinga Chica	Interno	143	42	10	127	10	0	185	137
Alvarado	Laguna Baja	Borde	32	2	2	33	2	0	34	35
	Laguna Baja	Interno	29	3	3	30	1	0	32	31
	Boca Júpiter	Borde	36	97	17	19	42	0	133	61
	Boca Júpiter	Interno	72	15	12	SD	SD	SD	87	0
	Socorro	Borde	16	50	3	15	4	0	66	19
	Socorro	Interno	79	5	1	78	1	0	84	79
Sontecompan	Cacahuate	Borde	48	152	40	49	85	0	200	134
	Cacahuate	Interno	30	0	3	20	0	0	30	20
	Costa Norte	Borde	19	1	3	15	0	0	20	15
	Costa Norte	Interno	17	0	0	16	0	0	17	16
El Ostión	Huazuntlan	Borde	38	4	5	36	3	0	42	39
	Huazuntlan	Interno	66	13	13	71	7	0	79	78
	Metzapan	Borde	206	128	15	171	77	0	334	248
	Metzapan	Interno	47	5	102	72	6	0	52	78

- *Área basal*

Se presentan los resultados de la variación del área basal en los años de 2013 y 2016 para cada especie (Figura 27). Los valores más altos en el manglar interno los registra el mangle negro, *Avicennia germinans*, siendo además la especie que domina en la mayoría de los sitios en ambos censos. En 2013, registra un área basal de 41.13 m²/ha en Tumilco y de 33.69 m²/ha en Tamiahua ambos en manglar interno, y de 34.32 m²/ha en Metzapan en el manglar de borde. En 2016 el manglar interno de la localidad El Ostión alcanza valores de 38.74 m²/ha en Huazuntlán y 33.64 m²/ha en Metzapan, seguida por los sitios de Tumilco y Tamiahua en el norte con 34.78 m²/ha y 33.85 m²/ha, respectivamente. El mangle rojo, *Rhizophora mangle*, por el contrario, presenta la mayor área basal en los manglares de borde y con los valores más altos en las localidades del sur del estado. En 2013 en Cacahuatate se registra un valor de 21.49 m²/ha seguida de Tecolutla con 19.41 m²/ha. Durante 2016 los valores más altos se registran en la localidad de Sontecomapan con valores de 22.09 m²/ha en Cacahuatate y 21.09 m²/ha en Costa Norte. El mangle blanco, *Laguncularia racemosa*, ocurre escasamente tanto en los manglares internos como de borde. Sin embargo, presenta valores altos en Tecolutla al norte del estado, tanto en 2013 con 26.70 m²/ha, como en 2016 con 32.93 m²/ha; seguido de Costa Norte al sur estado donde registra un área basal promedio de 27.55 m²/ha (2013) y 18.19 m²/ha (2016). Esta especie también tiene valores altos en el manglar de borde en Costa Norte con 23.27 m²/ha y 31.73 m²/ha en 2013 y 2016 respectivamente.

La relación entre el área basal total al inicio (2013) y al final (2016) del monitoreo tanto en el manglar interno como el de borde se muestra en la Figura 28. Las diferencias que existen entre la caracterización de la estructura entre los dos censos se atribuyen a la pérdida de árboles, que en general va de 1 a 87 individuos con placa no se encontraron en el segundo censo. Sin embargo, en Metzapan en la segunda caracterización se incrementó el número de individuos censados en el manglar interno y en el de borde no se censaron 87 individuos.

En 2013 en el **manglar interno**, el área basal total osciló entre 7.75 y 53.82 m²/ha para Metzapan y Cacahuatate respectivamente, ambos en la zona sur; y de 11.06 m²/ha en Tampamachoco a 55.59 m²/ha también en Cacahuatate en 2016. En el **manglar de borde** en la primera caracterización, el área basal fluctuó entre 10.48 m²/ha en Tumilco y 37.55 m²/ha en Costa Norte. Para 2016, también se registra el mayor valor en el mismo sitio (Costa Norte, 52.82 m²/ha) y el menor en Boca de Júpiter con 7.78 m²/ha. En general, en el manglar de borde el área basal es menor en relación al manglar interno y no se observa un patrón claro en función a la latitud para ambas geoformas.

- *DAP*

En el **manglar interno** esta variable mantiene el mismo patrón para las tres especies (Figura 29). El DAP en el mangle negro en 2013 osciló entre 7.07 cm en Tampamachoco a 36.92 cm en Cacahuatate y en 2016 fluctuó entre 6.96 cm también en Tampamachoco y 37.70 cm en La Mancha. Los valores más bajos para *Rhizophora mangle* se registraron en el manglar interno, y nuevamente se registran en Tampamachoco en ambos censos con un valor de 3.13 cm en 2013 y de 2.83 cm en 2016. Mientras que en Cacahuatate se registran los valores más altos que van de 17.60 cm y 21.12 cm en 2013 y 2016 respectivamente. El mangle blanco varío de 4.84 cm en Mandinga Chica a 51.30 cm en Cacahuatate para 2013, y de 5.35 a 51.96 cm en Tumilco y Cacahuatate para 2016, siendo este valor el más alto en el manglar interno entre las tres especies.

En el **manglar de borde**, el valor más bajo de DAP para las tres especies se registra en Metzapan. El DAP en *Avicennia germinans* oscila entre 6.77 y 36.94 cm en Metzapan y La Mancha respectivamente en 2013, y de 6.04 cm (Metzapan) a 39.52 cm en La Mancha para 2016. *Rhizophora mangle* registra los valores altos en Alvarado con 22.84 cm en Laguna Baja (2013) y 26.88 cm en Boca de Júpiter (2016), y los valores bajos en Metzapan con 3.57 cm (2013) y 4.41 cm (2016). El mangle blanco en Costa Norte presenta valores altos en ambos censos y registra 55.66 cm y 57.54 cm en 2013 y 2016 respectivamente, y los valores bajos en Metzapan siendo 4.83 cm en 2013 y en 2016 en Nautla con 4.19 cm.

No se observan diferencias entre los dos censos para ambas geoformas (Figura 30). La localidad de Sontecomapan registra los valores más altos tanto en el manglar interno como en el de borde en 2013 y 2016. El **manglar interno** de Costa Norte registra un DAP promedio de 28.70 cm en 2013 y en Cacahuatate 30.32 cm en 2016, mientras que los valores de DAP son más altos en el **manglar de borde** de Costa Norte (29.04 cm y 35.95 cm en 2013 y 2016, respectivamente).

- *Densidad*

La densidad de *A. germinans* en el **manglar interno** o de planicie lodosa en el censo de 2013, fluctuó entre 175 individuos/ha en La Mancha a 3300 individuos/ha en Tampamachoco. Para *R. mangle* varío entre 50 ind/ha en Mandinga Chica y 700 ind/ha para Nautla. Finalmente, para *L. racemosa* osciló entre 25 ind/ha (Mandinga Chica y Metzapan) y 1800 ind/ha en Tecolutla. En el censo de 2016 para este tipo de manglar se mantiene sin cambio aparente, el mangle negro registra una densidad de 150 ind/ha en La Mancha a 3275 ind/ha en Mandinga Chica; el mangle rojo de 50 ind/ha en

Tampamachoco y Mandinga Chica a 875 ind/ha en Nautla y el mangle blanco de 25 (Mandinga Chica, Laguna Baja y Metzapan) a 1825 individuos/ha (Tecolutla). Asimismo, en este tipo de manglar también no se observa una tendencia definida presentándose densidades altas en la zona norte, centro y sur del estado para *A. germinans*, al norte para *R. mangle*, y al norte y centro del estado para *L. racemosa* (Figuras 31 y 32).

En el **manglar de borde** el censo de 2013 registró para *A. germinans* densidades entre 50 y 3600 ind/ha para Cacahuatate y Metzapan respectivamente; *R. mangle* entre 125 (Laguna Baja) y 2000 (Tampamachoco) ind/ha, y para *L. racemosa* entre 25 ind/ha en La Mancha y 925 ind/ha en Metzapan. En 2016 en general se mantienen estos valores de densidad fluctuando para *A. germinans* de 50 (Tecolutla y Cacahuatate) a 3675 ind/ha (Metzapan); para *R. mangle* de 175 a 2350 ind/ha en Laguna Baja y Tampamachoco respectivamente, y para *L. racemosa* de 25 ind/ha (La Mancha) a 975 ind/ha (Metzapan; Figura 30). Tanto para el manglar negro como el manglar rojo se observa una tendencia a presentar mayor densidad de ind/ha en las localidades ubicadas en el centro del estado, mientras que el mangle blanco su mayor abundancia se registra hacia el sur (Figura 31 y 32).

En ambas geoformas, en general, el mangle negro registra mayor abundancia en ambas caracterizaciones, registrando la más alta densidad en Metzapan (3600 ind/ha) en el manglar de borde durante el 2016. Estos sitios tienen numerosos individuos posiblemente debido a alguna alteración previa por un evento natural o inducido.

- *Altura promedio*

En las planicies lodosas o manglar interno, la altura promedio no registra variaciones significantes durante el periodo ejecución del proyecto. Las mayores alturas promedio para las tres especies de mangle se registran en Cacahuatate en el año 2016. *Avicennia germinans* en la primera caracterización la altura promedio oscila entre 4.15 m y 13.93 m en los sitios de Tampamachoco y La Mancha respectivamente, manteniéndose el valor promedio mínimo de 4.57 m en 2016 también en Tampamachoco y alcanzando una altura promedio máxima en Cacahuatate con 17.45 m. El mangle rojo registra la altura promedio más baja, en 2013 fluctuando entre 2.3 m en Tampamachoco y 12.74 m en Cacahuatate; en 2016 se mantiene este patrón con la menor y mayor altura promedio en los mismos sitios y registra un valor de 2.46 m y 17.10 m. *Laguncularia racemosa* alcanza las alturas promedio más altas en ambas caracterizaciones, en 2013 oscila entre 4.52 m en Tumulco a 17.19 m en Costa Norte y de 2.95 m hasta 17.54 m en Laguna Socorro y Cacahuatate respectivamente para 2016 (Figura 33).

En el **manglar de borde** las alturas no presentan variación evidente entre la primera y la segunda caracterización. El mangle negro varía entre 5.60 m en Metzapan a 14.50 m en Huazuntlán en 2013 y de 5.94 m hasta 16.66 m en 2016 para Metzapan y La Mancha respectivamente. *R. mangle* registra alturas promedio entre 4.82 m (Tampamachoco) y 14.60 m (La Mancha; en 2013) y de 5.12 m en Tamiahua y 14.70 m en Costa Norte (2016). *L. racemosa* registra la altura promedio más altas en relación a las otras dos especies, fluctuando entre 5.60 m en Boca de Júpiter hasta 18.31 m en Costa Norte en 2013, y desde 5.89 m a 19.57 m en Nautla y Costa Norte respectivamente para 2016 (Figura 33).

A nivel de geoforma, en general, el manglar interno registra las alturas promedio similares para las tres especies. Sin embargo, el mangle blanco presenta altura una mayor en relación al manglar de borde principalmente los que se ubican al sur del estado (Figura 33 y 34).

Se observa en el manglar interno que en las localidades del sur se registran los máximos valores en área basal, altura y DAP principalmente en Sontecomapan (sitio Cacahuatate) y en el norte los menores en los manglares de Tampamachoco. Es importante destacar que los manglares en Sontecomapan están protegidos dentro de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, mientras que en el sitio Tampamachoco, los manglares internos están sujetos a un estrés hidrológico, hipersalinización del agua intersticial, que está induciendo la mortandad masiva. Esta se inicia con la pérdida de las ramas superiores hasta perder el follaje (Lopez-Portillo et al. 2014). Estos factores tienen influencia en la estructura de estas comunidades.

En el manglar de borde, en general se observa esta misma tendencia para los máximos registrándose en el sur en la localidad de Sontecomapan para el sitio Costa Norte y Alvarado en Laguna Socorro. Sin embargo, Tecolutla en el norte también registra alturas máximas para *Avicennia germinans*. Los registros de valores mínimos no presentan un patrón definido estando tanto en el norte como en el sur.

Este patrón se invierte para los valores de densidad, registrándose los máximos en el norte (Tampamachoco para *Avicennia germinans*; Tecolutla para *Laguncularia racemosa*; Nautla para *Rhizophora mangle*) y los valores mínimos en sur para mangle rojo y blanco (Mandinga Chica y Metzapan), indicando la poca representatividad de estas especies en estos sitios. En el manglar de borde, este patrón no es claro ya que Tampamachoco registra los valores máximos para el mangle rojo y Metzapan tanto para mangle negro como blanco, probablemente estas localidades hay una regeneración,

inducida por la reforestación que han hecho los habitantes de estas áreas (Bonifacio Morales, com. pers. 2013).

- *Índice de valor de importancia*

Durante 2013 y 2016 a nivel de especies *A. germinans* y *R. mangle* alcanzan los mayores valores (IVI=300), la primera en el **manglar interno** y la segunda en el **manglar de borde**. (Figura 35) indicando una parcela monoespecífica. En el **manglar interno** en 2013 el mangle rojo (*R. mangle*) oscila entre 4.32 en Mandinga Chica y 136.4 en La Mancha, en 2016 varía de 4.48 en Mandinga Chica hasta 151.57 en La Mancha nuevamente. El mangle blanco (*L. racemosa*) alcanza los valores más altos en Tecolutla registrando 226.50 en 2013 y 219.40 en 2016. En el **manglar de borde** el índice del valor de importancia del mangle negro fluctúa entre 9.62 y 218.7 en 2013 y, entre 10.88 y 189.20 en 2016, registrando los valores bajos en Tecolutla los altos en Metzapan en ambos censos. *Rhizophora mangle* registra el máximo valor (300) altos en Laguna Socorro, tanto en 2013 y 2016. Por otra parte *L. racemosa* presentó valores de 8.2 en La Mancha y 109.0 en Costa Norte en la primera caracterización y de 8.86 (La Mancha) a 120.40 en Huazuntlán durante la segunda en 2016. El valor máximo de 300 es una característica de los manglares de cuenca o internos o de planicies lodosas, además indica que se trata de bosques monoespecíficos.

Para ambas geoformas se observa una ligera variación en los valores del índice de importancia relativa para las tres especies durante el periodo de ejecución del proyecto. Las comunidades monoespecíficas de *Avicennia germinans* están registradas principalmente en el norte del estado (Pueblo Viejo, Tamiahua y el Llano) y al sur en Mandinga. En el manglar interno el mangle negro registra los valores más altos y solo en Costa Norte no se registra dentro de la parcela y el mangle blanco tiene los valores más altos. Mientras que *Rhizophora mangle* tiene los valores más altos en esta geoforma al sur en los manglares de borde y solo el sitio Socorro en Alvarado se registra una comunidad monoespecífica de mangle rojo (Figura 35 y 36).

- *Índice de complejidad*

Se observan variaciones en el Índice de Complejidad (IC) para los dos tipos de manglar en algunos sitios (Figura 37). En el **manglar interno** durante 2013 el máximo valor se registró en Tumilco (72.74, con área basal total de 43.28 m²/ha y altura promedio de 8.36 m) y en 2016 Metzapan (79.94, área basal de 35.41 m²/ha y altura promedio de 7.17 m). Mientras que en el **manglar de borde** el mayor índice se presentó en Metzapan tanto en la caracterización de 2013 con 142.24 (área basal 37.36 m²/ha y altura

promedio de 5.59 m) como en la segunda de 2016 con 77.95 (área basal 17.12 m²/ha y altura promedio de 6.07 m).

Entre ambas geoformas, existe una tendencia a presentarse los índices de complejidad más altos en los manglares internos que en los manglares de borde (Figura 37). Asimismo, el **manglar interno** tiene mayor variación en cuanto a los sitios que registran los mayores índices de complejidad, tal es el caso de Tumulco en 2013 presenta una densidad de 1675 ind/ha y Metzapan en 2016 registra una densidad de 2625 ind/ha, reflejándose en el IC con 72.7 y 77.9 respectivamente. Además, en estos sitios están presentes las tres especies de manglar con *Avicennia germinans* presentando los valores altos en área basal, altura promedio y densidad para 2013 en Tumulco y en 2016 en Metzapan. En el **manglar de borde** no se observa variación importante entre sitios y tampoco entre los dos censos y registrando índices de complejidad menores a 40 para la mayoría de los sitios. Sin embargo, Metzapan tiene un índice de complejidad de 142.2 con 5675 ind/ha en la primera caracterización y de 79.9 con 6250 ind/ha en 2016, por tanto, registra los valores más altos de IC en este manglar.

- *Crecimiento con bandas dendrométricas*

Se colocaron 234 bandas en individuos ubicados en el manglar de borde (67 en individuos de *Avicennia germinans*; 10 de *Laguncularia racemosa* y 157 de *Rhizophora mangle*) y 290 en el interno (222 de *A. germinans*, 39 de *L. racemosa* y 30 de *R. mangle*) a lo largo del litoral de Veracruz. El crecimiento en DAP a lo largo del gradiente latitudinal en el **manglar de borde** varía de 0.05 mm/año en Pueblo Viejo y la Mancha y el máximo de 0.28 mm/año en Metzapan en *Avicennia germinans*. En *Laguncularia racemosa* el valor máximo es de 0.19 mm/año (Metzapan) y el mínimo de 0.04 mm/año (La Mancha). El crecimiento en *Rhizophora mangle* varió de 0.04 mm/año (Tampamachoco) a 0.36 mm/año en Tamiahua (Figura 38).

En el manglar interno (Figura 38) el crecimiento promedio en *A. germinans* varía de 0.08 mm/año (Pueblo Viejo) a 0.44 mm/año (Tecolutla), *L. racemosa* va de 0.01 mm/año (Nautla) a 0.33 mm/año (Laguna Baja) y finalmente *R. mangle* va de 0.02 mm/año (Costa Norte) a 0.26 mm/año (Metzapan). No se observa patrón relacionado con la variación latitudinal. En cuanto al crecimiento por especie y geoforma si se observan diferencias significativas en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

- *Regeneración potencial*

Los datos obtenidos no permiten hacer una estimación de la regeneración de este ecosistema. Sin embargo, se puede observar que en la mayoría de las parcelas en la

segunda evaluación los individuos juveniles disminuyeron drásticamente, así como las plántulas. Las probables causas de esto pueden estar asociadas a las prácticas ganaderas que se realizan en cada sitio, que consiste en la introducción del ganado a las áreas de manglar para alimentarse con las plántulas y al pasar pisotean a los juveniles o son tirados al suelo.

Reguladores del suelo

Se presentan los resultados del monitoreo de los parámetros físicos y químicos del agua intersticial obtenidos a partir de junio de 2013 a agosto de 2016. En las Figuras 39 a 42 se presentan los valores promedio de salinidad, potencial redox, pH y temperatura, en los dos niveles de evaluación (50 y 120 cm) por localidad y por tipo de manglar con su error estándar. La figura de la izquierda contiene las localidades que se ubican al norte del estado (Tamiahua, Tuxpan, Tecolutla y La Mancha) y la figura de la derecha corresponde a las localidades localizadas al sur del estado (Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y Ostión). Para las gráficas de los cuatro parámetros monitoreados se consideró el promedio de los dos sitios y los 3 piezómetros de cada parcela en cada sitio / localidad (3 sitios para Alvarado), es decir para el manglar de borde de Tamiahua se toma en cuenta Pueblo Viejo y Tamiahua del manglar de borde a su respectiva profundidad (50 y 120 cm), y de la misma forma para el manglar interno.

- *Salinidad*

Durante el período de monitoreo no se observan cambios importantes en los valores la salinidad del agua intersticial; sin embargo, se pueden distinguir algunos patrones probablemente cíclicos en los manglares del sur. En norte los valores oscilan en el mismo rango que para la mayoría de los sitios; no obstante, en el manglar interno de Tamiahua se observa una reducción en el intervalo en los últimos meses comparado con lo el primer año de evaluación (Figura 39). Los valores mínimos de salinidad en los **manglares internos** se registran en La Mancha con 0.51 UPS (UPS = unidades prácticas de salinidad) y 0.52 UPS a 50 cm y 120 cm de profundidad respectivamente, y en Cacahuatate con una concentración de 0.72 UPS tanto a 50 cm como a 120 cm. En El Llano y Tampamachoco se registran los valores más altos para la zona norte con 72.43 UPS (50 cm) y 74.78 UPS (120 cm) respectivamente. En el manglar interno de la zona sur, la concentración alta de salinidad se registra en Laguna Baja con 60.95 UPS a 120 cm de profundidad seguida de Mandinga Grande con 56.64 UPS a 50 cm de profundidad. En los manglares de borde se registra la salinidad más baja en Huazuntlán

con 0.10 UPS a 50 cm de profundidad, seguido de La Mancha con 0.36 UPS a 120 cm de profundidad.

En la Figura 39 se observa la tendencia mensual de la concentración de salinidad por localidades. En el **manglar de borde** en Tecolutla se mantienen bajas salinidades durante todo el período de monitoreo registrando pulsos en junio de 2014 a 120 cm y septiembre de 2015 en ambas profundidades registrando una salinidad promedio de 19.06 y 14.64 UPS a 120 cm de profundidad respectivamente. En las localidades de Alvarado y Sontecomapan también se registran bajas salinidades con algunos pulsos en la concentración de sales tanto en el manglar de borde como en el interno en ambas localidades con promedios que fluctúan entre 0.69 y 31.51 en el manglar interno a 120 cm de profundidad y desde 1.57 a 31.46 UPS a 50 cm en el manglar de borde. Los promedios más altos se presentan en la localidad de Tuxpan (Tumilco y Tampamachoco) al norte del estado con una salinidad de 70.30 UPS a 120 cm de profundidad en junio de 2016 en el manglar interno y de 63.62 UPS también a 120 cm de profundidad en el manglar de borde para febrero de 2015.

Las localidades de Tamiahua, Tuxpan y La Mancha presentan grandes variaciones en los valores de salinidad tanto en el manglar de borde como en el interno, siendo los más evidentes en Tuxpan puesto que presenta los valores más altos registrados, Tamiahua de 14.07 a 54.13 UPS en el manglar de borde y de 7.03 a 64.90 UPS en el interno. En La Mancha de 0.36 a 54.68 UPS en el manglar de borde y de 0.51 a 59.61 UPS en el interno. En Mandinga el manglar de borde e interno mantienen la misma tendencia, en ambos manglares los valores altos de salinidad se encuentran a 120 cm de profundidad con un rango entre 3.12 a 46.72 UPS en el manglar de borde y entre 5.77 y 51.32 UPS en el manglar interno. En la localidad del Ostión se observa que la salinidad no presenta algún patrón. En ambos tipos de manglar se observa que la salinidad a 120 cm de profundidad presenta valores ligeramente más altos, mientras que a 50 cm ocurre lo contrario y decrece drásticamente lo que podría relacionarse a un patrón cíclico a esta profundidad (Figura 38); los valores promedio tienen un rango entre 1.32 a 44.10 UPS en el manglar de borde y entre 1.74 a 50.19 UPS en el manglar interno.

En general, en los dos tipos de manglar, tanto de borde como interno, se observa que las mayores salinidades se registran a 120 cm de profundidad, esta podría ser una condición del tipo de suelo y la textura que retiene las sales y del aporte de agua dulce de las lluvias y de la escorrentía terrestre (Figura 39). Por lo que se observan manglares que crecen en salinidades bajas como es Tecolutla, Alvarado y Sontecomapan,

salinidades altas en Tamiahua, Tuxpan y La Mancha y en salinidades intermedias en Mandinga y el Ostión.

- *pH*

Existen variaciones importantes de pH en la mayoría de los manglares principalmente al inicio del proyecto y en algunas localidades continúan con esa tendencia (por ejemplo, Tuxpan, La Mancha, Ostión). Los valores más altos se registran al sur del estado con 8.91 en el manglar de borde de Cacahuatate y 8.66 de pH para el manglar interno de Mandinga Chica. Mientras que los valores bajos se registran al norte del estado en el manglar interno de Pueblo Viejo con 4.44 y 4.91 de pH a 120 cm y 50 cm de profundidad respectivamente. A nivel de geoforma y localidad (Figura 40), los valores de pH no presentan algún patrón evidente durante el desarrollo del proyecto, al norte los manglares de las localidades de Tecolutla y Tamiahua registran los valores promedio bajos de 5.96 (manglar de borde a 50 cm de profundidad) y 5.69 (manglar interno a 120 cm de profundidad) de pH respectivamente. Las localidades que presentan mayor variación son La Mancha con un rango que va desde 6.30 hasta 8.31 para el manglar de borde y de 6.33 y 7.99 en el manglar interno, seguido de Tuxpan que fluctúa de 6.21 a 7.89 (manglar de borde) y desde 6.43 hasta 8.04 para el manglar interno.

Los manglares del sur, en general, registran los valores más alcalinos de pH en la localidad de Sontecomapan (Cacahuatate y Costa Norte), con promedio de 8.45 de pH (agosto de 2013) en el manglar de borde y 8.58 (junio de 2013) en el manglar interno, ambos sitios a 120 cm de profundidad. Se observa que a partir de junio-julio de 2014 en los manglares de Tecolutla la variación fue menor y se registran valores de 6.26 a 7.61 en el manglar interno, este mismo patrón ocurre en los manglares de Sontecomapan y en el manglar de borde de Alvarado. Aparentemente no se observa un patrón estacional o relacionado con las descargas de los ríos asociados a cada sistema. En relación al nivel del agua intersticial, se observa que los valores ligeramente alcalinos se encuentran principalmente a 50 cm de profundidad, en los manglares de Tumilco y La Mancha, registrando valores de 8.19 y 8.20 en el manglar de borde e interno y de 8.31 en el de borde y 8.16 en el interno, respectivamente. Los valores ácidos en estos dos sitios se registran a 120 cm de profundidad siendo el valor más bajo en el manglar de borde de Tumilco con 6.20 de pH (Figura 40).

- *Redox*

En general los suelos de los manglares en los sitios monitoreados presentan escasez de oxígeno y son reducidos ya que todos los valores se encuentran por debajo de cero

(Figura 41). El potencial de oxidación no presenta variación en los valores mínimos y se mantienen en la localidad de Tampamachoco al norte del estado con -363.5 mV para el manglar de borde y -337.0 mV para el manglar interno, ambos a 120 cm de profundidad registrados en enero de 2014. La Mancha es la localidad que registra el valor más alto de potencial redox en ambas geoformas con 534.0 mV en el manglar interno; en el manglar de borde de Pueblo Viejo también presenta un valor alto de redox (180.33 mV) en ambos casos a 120 cm de profundidad de la superficie del suelo. Se observa una tendencia general a registrarse valores negativos tanto en el manglar de borde como en el interno y en los dos niveles del agua intersticial (50 y 120 cm). En las localidades del sur, los valores mayores se registran en Mandinga Grande con -352.00 mV en el manglar de borde y Costa Norte con -314.00 mV en el manglar interno, por lo que tienden a presentar condiciones de suelos reducidos. El pH en los manglares de borde e interno en Alvarado tienen poca variación que es perceptible a partir de junio de 2014. Sin embargo, en la localidad de Sontecomapan en ambos tipos de manglar se registra un pulso en los valores del potencial redox en octubre de 2015, alcanzando valores promedio positivos de 73.00 mV en el manglar de borde y 99.33 mV en el manglar interno, ambos a 50 cm de profundidad. En los manglares de Mandinga, ambas geoformas mantienen el mismo patrón, el manglar interno con mayor variación con respecto al manglar de borde y registra valores promedio de -84.28 hasta -219.00 mV. En El Ostión en general el manglar interno presenta menor variación en los valores promedio del potencial redox siendo menos reducidos que el manglar de borde. En la Figura 41 también se observa que los valores mayores tienden a presentarse a 50 cm de profundidad del suelo y los menores a 120 cm. Detectándose que los manglares de borde de La Mancha (al norte), Mandinga y Sontecomapan (al sur) presentan suelos orgánicos y reducidos.

- *Temperatura*

La temperatura del agua intersticial es una variable que fluctúa estacionalmente durante el año y presenta un patrón cíclico de variación, observándose los picos más altos en la temporada de verano y los valores más bajos en invierno (Figura 42). De manera general, los manglares del norte presentan intervalos más amplios de variación con respecto a los manglares del sur. Los valores mínimos de temperatura se mantienen en los sitios de Mandinga Chica con una temperatura de 14.44 °C y en Tamiahua con 15.77 °C en el manglar interno. En los manglares de borde la temperatura más baja se registra al norte del estado en Tamiahua (16.80 °C) y Pueblo Viejo (19.07 °C), presentándose también las temperaturas más altas en Pueblo Viejo con 35.15 °C y 31.95 °C a 50 y a

120 cm de profundidad respectivamente. No obstante que, el verano en 2015 fue más seco que en 2014 las temperaturas máximas no registran alguna variación.

También se observa en la Figura 42, que los manglares del sur presentan un intervalo de variación más estrecho que los manglares del norte, ya que se registran valores promedio que van desde 19.19 °C en la localidad de Alvarado hasta 30.60°C en Sontecomapan para el manglar de borde y de 19.00 °C en Mandinga a 30.72 °C en El Ostión para el manglar interno. En los manglares del norte la fluctuación de la temperatura es mayor registrándose el valor promedio más bajo con 17.22 °C y el más alto de 31.75 °C ambos en el manglar de borde en la localidad de Tamiahua. La temperatura del agua intersticial en los dos niveles de monitoreo (50 y 120 cm) se mantiene con el mismo patrón tanto en los manglares de borde como en el interno en las localidades de monitoreo del norte y del sur. No obstante que 2016 es un año bastante seco las mayores temperaturas no superan a las registradas al inicio del monitoreo en 2013, pero las temperaturas más bajas se registran durante 2015.

La salinidad y el potencial redox tienen una respuesta al gradiente latitudinal, puesto que la salinidad disminuye hacia el sur donde probablemente hay más influencia de los ríos asociados a las áreas de manglar. Siguiendo esta misma distribución se observa que en el manglar interno la salinidad es más alta en relación al manglar de borde. El potencial redox es más negativo en el sur (Mandinga y Sontecomapan) y menos negativo en el norte (Tamiahua). También se observa que en general, el potencial redox en el manglar de borde es más negativo que el interno. Tanto la temperatura como el pH no se observa alguna tendencia con respecto a al gradiente latitudinal entre localidades.

- *Relación acreción/subsidencia del suelo*

En la Figura 43 se presentan los resultados de los tres años de monitoreo de los tubos de acreción implementados en las parcelas de cada sitio. En general se observa que los manglares de borde e interno en la zona central del estado se encuentran erosionados y presentan una subsidencia de -0.49 cm/año en promedio en Mandinga Chica para el manglar de borde y de -0.46 cm/año en Laguna Baja para el manglar interno. Sin embargo, los manglares del norte y sur, excepto Tecolutla en el manglar de borde y Pueblo Viejo en el manglar interno, presentan un proceso de acreción del suelo, que es muy similar en los manglares internos del sur en Sontecomapan y el Ostión. En mayor escala se registra en el manglar de borde de Pueblo Viejo (0.63 cm/año). Este parámetro es una medida de la vulnerabilidad de los manglares ante el incremento del nivel medio

de mar. Esta subsidencia en la parte central del estado coincide con la presencia del sistema deltaico de Alvarado.

Las proyecciones del IPCC señalan que el nivel del mar seguirá aumentando, lo cual afectará las zonas costeras. Para Alvarado se espera un incremento del nivel del mar $1.8 \pm 2.3 \text{ mm año}^{-1}$, mientras que en Veracruz se estima en $1.9 \pm 0.6 \text{ mm año}^{-1}$. Zavala et al., (2010) analiza las tendencias del nivel medio del mar siendo los sitios de interés para el estado de Veracruz: Tuxpan, Veracruz, Alvarado y Coatzacoalcos en el Golfo de México.

Para Tuxpan la tendencia del nivel del mar es $2.8 \pm 2.3 \text{ mm/año}$ y con los tubos de acreción se estima una tasa de acreción entre 2013 a 2016 es de 3 mm en Tumilco y 5 mm en Tampamachoco para el manglar de borde, mientras que para el interno es de 1 mm en Tumilco y 0.5 mm en Tampamachoco.

La tendencia de la elevación del nivel del mar en Veracruz es de $1.9 \pm 0.06 \text{ mm/año}$ y los sitios de estudio cercanos a esta localidad son La Mancha (manglar de borde $-1.0 \pm 0.2 \text{ mm/año}$ e interno $-0.7 \pm 0.2 \text{ mm/año}$), Mandinga Chica (manglar de borde $-4.8 \pm 0.2 \text{ mm/año}$ e interno $-1.3 \pm 0.4 \text{ mm/año}$) y Mandinga Grande (manglar de borde $-3.5 \pm 0.4 \text{ mm/año}$ e interno $-0.2 \pm 0.2 \text{ mm/año}$). Para Alvarado, la tendencia de elevación del nivel medio del mar es de $1.8 \pm 2.3 \text{ mm/año}$, y los sitios en estudio próximos a este puerto son: Laguna Baja (manglar de borde $-0.2 \pm 0.2 \text{ mm/año}$ e interno $-0.4 \pm 0.3 \text{ mm/año}$), Boca de Júpiter (manglar de borde $-0.2 \pm 0.2 \text{ mm/año}$ e interno $-4.6 \pm 0.3 \text{ mm/año}$) y Laguna Socorro (manglar de borde $-2.4 \pm 0.3 \text{ mm/año}$ e interno $-0.1 \pm 0.3 \text{ mm/año}$). Esta parte central del estado tiene a ser más susceptible a la elevación del nivel medio del mar, ya que no se compensa la con la tasa de acreción que se estimó en estas localidades.

En Coatzacoalcos se estima una tendencia de elevación del nivel medio del mar es de $2.9 \pm 1.5 \text{ mm/año}$ (Zavala et al. 2010). En las localidades Metzapan (manglar de borde $1.9 \pm 0.4 \text{ mm/año}$ e interno $4.7 \pm 0.4 \text{ mm/año}$) y Huazuntlán (manglar de borde $3.4 \pm 0.3 \text{ mm/año}$ e interno $4.2 \pm 0.4 \text{ mm/año}$).

La tendencia de elevación del nivel medio del mar y la tasa de acreción estimada para los sitios donde se ubican las parcelas permanentes pueden ser reforzada por Ortiz Pérez y Méndez Linares (1999) quienes establecen que las zonas de mayor fragilidad y riesgo potencial son las tierras bajas de la Laguna de Alvarado y el curso bajo del río Papaloapan donde se observa un evidente hundimiento.

Recursos del suelo

Los resultados de los recursos del suelo (materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total extractable, pH y densidad aparente) de todos los sitios se presentan en las Figuras 44 a 46. Las evaluaciones se realizaron en 2014 y 2016, sin embargo, es importante mencionar que no se pudieron extraer las muestras de suelo de los sitios Boca de Júpiter en el manglar de borde (2014) y en Costa Norte para los dos tipos de manglar (**borde e interno**, en 2014 y 2016), debido a que el suelo estaba muy húmedo y con alto contenido de materia orgánica lo que no permitió tomar la muestra con el tubo de PVC. No obstante, se intentó sin éxito colectar la muestra en mayo de 2014 (época de secas). Para Boca de Júpiter interno en 2016 no se pudo obtener la muestra por motivos de inseguridad de la zona.

- *pH*

En general, ambas geoformas presentan un intervalo de variación similar. Los suelos de los manglares con pH más ácido se encuentran hacia el sur del estado. En el **manglar de borde** los suelos de los manglares de Cacahuatle en 2014 y Huazuntlan en 2016 registran valores de pH de 2.73 y 2.16 respectivamente. En el **manglar interno** los suelos con pH más bajo se encuentran en Cacahuatle (2014) con 2.00 y Metzapan (2016) con 4.38. Por el contrario, en los manglares del norte los suelos tienden a ser alcalinos. El **manglar de borde** de Tamiahua, tanto en 2014 como en 2016, registra los valores más altos de pH con 7.71 y 7.7 de pH respectivamente. En el **manglar interno**, sin embargo, se registra en 2014 el suelo más alcalino en Pueblo Viejo alcanzando 7.83 de pH. Los suelos del manglar de Nautla registran el mayor valor en 2016 con un pH de 7.71. Se observa en general que el pH de los suelos del manglar interno son muy similares a lo largo de la costa en el estado de Veracruz (Figura 44).

- *Porcentaje de materia orgánica*

En general, se observa que los manglares de borde presentan mayor porcentaje de materia orgánica que los manglares internos. Los manglares de borde de Pueblo Viejo y Tamiahua al norte registran los valores más bajos con 3.85% en 2014 para el primero y 3.49% en 2016 para el segundo. En los manglares de borde al sur, en 2014 Laguna Baja alcanza un valor de 33.85% de materia orgánica y Cacahuatle 35.30% en 2016. El porcentaje de materia orgánica en el **manglar interno** presenta variaciones entre 2014 y 2016. En 2014 oscila entre 2.96% para Pueblo Viejo y 34.25% en Cacahuatle. Por otro lado, en 2016 el porcentaje de materia orgánica en el suelo fluctúa desde 1.82% en El

Llano a 15.63% en Mandinga Grande. Entre sitios (excepto Mandinga Grande) en el manglar interno se presentan valores más bajos y los valores altos se registran en los manglares de borde de la parte central del litoral del Estado de Veracruz (Figura 44).

- *Nitrógeno Total*

En general la cantidad de nitrógeno en el suelo es escasa debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico, y puede llegar al suelo gracias a aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Para los **manglares de borde** en 2014 el porcentaje más alto de nitrógeno (1.07 %) se registra en los sitios de Laguna Baja y Laguna Socorro en la localidad de Alvarado y el valor mínimo en Pueblo Viejo con 0.23 %. En 2016 nuevamente Pueblo Viejo es el sitio con el valor más bajo (0.33%) y Tumilco registra el más alto con 1.25%. En el **manglar interno** se registra el valor más bajo de nitrógeno con 0.12% en El Llano fluctuando hasta 0.71% en Tumilco durante 2014. El manglar interno de Tampamacho registra el porcentaje más alto (0.69%) en 2016 y Huazuntlán presenta el valor más bajo con 0.19%. Se observa que para este parámetro en general los manglares internos tienden a ser más bajos que los manglares de borde (Figura 44).

- *Fósforo total*

El **manglar interno** registra los dos extremos de variación para esta variable, observándose en 2014 el mayor porcentaje de fósforo en el sitio de Nautla con un valor de 0.095 % y el valor mínimo en Cacahuatate con 0.0001 %. Durante 2016 Laguna Socorro registra el porcentaje más alto con 0.159% y Pueblo Viejo el más bajo con 0.030%. El comportamiento del porcentaje de fósforo total en ambos tipos de manglar es similar, en los **manglares de borde** en 2014 varía entre 0.0002 (Metzapan) hasta 0.090 (Mandinga Grande). En 2016 los valores del fósforo total se incrementan y oscilan entre 0.02% en Metzapan hasta 0.11% en Nautla. En general, los valores para este elemento se incrementan en la última evaluación, y el manglar interno presenta los valores más altos en los sitios ubicados en la parte central del litoral del Estado de Veracruz como son Nautla, La Mancha y Mandinga Grande en el borde y Tecolutla, Nautla, El Llano, Laguna Socorro y Cacahuatate en el interno (Figura 44).

- *Densidad aparente del suelo*

Se observa que los **manglares de borde** presentan suelos con menor densidad que los manglares internos en ambas temporadas de monitoreo (2014 y 2016), registrándose los valores promedio más bajos para la zona de 0.10 g/cm³ en Laguna Socorro y

Cacahuat en 2014 y 0.14 g/cm^3 en Cacahuat nuevamente en 2016, lo que podría indicar que son suelos porosos y que existe una mayor circulación de agua y aire y por tanto son los suelos más húmedos como lo refleja la Figura 45. En estas localidades existe buena penetración de raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de los árboles (Donoso 1992). Los suelos con mayor densidad en el manglar de borde se encuentran en Laguna Baja (0.82 g/cm^3) en 2014 para el estrato inferior y en Pueblo Viejo se registra el valor más alto con 0.92 g/cm^3 en 2016 para el estrato medio. En la gráfica también se observa que los suelos del **manglar interno** tienden a ser más densos que los suelos de borde, y resalta una alta variación en los tres estratos entre las localidades y suelos más densos, la fluctuación va desde 0.18 g/cm^3 para el estrato superior en Tampamachoco hasta 0.93 g/cm^3 para el estrato medio en El Llano en 2014; y desde 0.19 g/cm^3 en Mandinga Grande para el estrato superior a 1.08 g/cm^3 en La Mancha para el estrato medio en 2016, es decir que el suelo es compacto o poco poroso, escasa aireación, la infiltración del agua es lenta lo que puede provocar anegamiento.

- *Humedad del suelo*

En general se puede observar que el manglar de borde es más húmedo que el manglar interno, debido a su cercanía a espejo de agua y mayor influencia del mar. En el estrato superior en el **manglar de borde** varía de 41.48% a 78.97% en Tamiahua y Cacahuat respectivamente, seguido de Laguna Socorro con 78.96%. En el **manglar interno** oscila de 32.31% en Tecolutla a 71.81% para Tampamachoco. En la capa intermedia de la muestra de suelo del **manglar de borde** va de 40.82% (Tampamachoco) a 79.65% (Laguna Socorro), mientras que el **interno** de 29.36% a 65.26% en los mismos sitios que para el **manglar de borde** de la zona superior, y en el estrato inferior los valores van de 21.11% en Pueblo Viejo a 75.34% en Tampamachoco en el **manglar de borde** mientras que en el **interno** de 29.42 a 59.38% en El Llano y Mandinga Chica respectivamente (Figura 46).

Descripción de las características de los suelos

A continuación, se presenta la descripción de los perfiles de suelo colectados en cada una de las parcelas de monitoreo de los sitios de manglar. Cada descripción está acompañada de un cuadro de resultados que detalla las características en cada horizonte. Estos resultados se presentan de norte a sur del litoral Veracruzano donde se ubica cada Localidad.

- Localidad: Pueblo Viejo, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: La muestra presentó horizontes similares en textura y con una tendencia a presentar el color más pálido hacia el horizonte más profundo (Cuadro 11). Las manchas y motas estuvieron presentes en los tres horizontes, pero los grumos solo se presentaron en el horizonte más profundo. En todo el perfil la densidad de raíces fue baja, aunque la mayor cantidad se presentó en el horizonte inferior muestreado.

Cuadro 11. Pueblo Viejo, manglar Interno				
Horizonte (ancho cm)		0 – 4.5	4.5 – 16.5	16.5 – 25
Color		2.5Y 4/1	2.5Y 4/1	2.5Y 5/1
Textura		Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Manchas		+ cafés	+ negras	+ cafés
Motas		+ cafés	+ cafés	+ grises
Grumos		-	-	+ blancos
Raíces	Finas	-	+	++
	Secundarias	-	+	++
	Cable	-	-	+

- Localidad: Pueblo Viejo, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: la muestra presentó claras diferencias entre la textura y color de los horizontes y una tendencia a presentar gleyzación en las capas más profundas de la muestra (Cuadro 12). La presencia de raíces, incluyendo finas, se concentró en los horizontes más profundos de la muestra lo cual es atípico sin embargo esta característica y la presencia de horizonte arcilloso y areno-arcilloso sugieren aportes de material terrígeno a la zona de estudio quizá durante épocas de desbordamiento de la laguna y sus afluentes.

Cuadro 12. Pueblo Viejo, manglar de Borde					
Horizonte (ancho cm)		0 – 2	2 – 3.5	3.5 – 13.5	13.5 - 25
Color		2.5Y 3/1	2.5Y 6/1	Gley 1 5/N	Gley 1 4/N
Textura		Arcillo- limoso	Areno- arcilloso	Arcilloso	Arcillo- limoso
Manchas		+ negras	+ café rojizo	+ cafés	+ cafés
Motas		+ cafés	+ café rojizo	-	-
Grumos		-	-	-	-
Raíces	Finas	-	-	+	+++
	Secundarias	-	-	-	++
	Cable	-	-	-	++

- Localidad: Tamiahua, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: La muestra presentó una textura arcillosa en sus tres horizontes los cuales se diferenciaron por cambios en la coloración y presencia de gleyzación en el

horizonte inferior muestreado (Cuadro 13). Se presentaron manchas en los tres horizontes, aunque las motas solo se presentaron en el horizonte superior y medio. Las raíces finas se concentraron en el horizonte intermedio (3-25.5 cm) siendo muy abundantes, aunque en el horizonte inferior también se encontraron pero en menor concentración.

Cuadro 13. Tamiahua , manglar Interno				
Horizonte (ancho cm)		0 - 3	3 – 25.5	25.5 – 30
Color		2.5Y 3/1	2.5Y 4/1	Gley 1 4/N
Textura		Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Manchas		+ cafés	+ cafés, + negras	+ negras
Motas		+ negras	+ negras	-
Grumos		-	-	-
Raíces	Finas	+	+++	++
	Secundarias	-	+++	+
	Cable	-	++	+

- *Localidad: Tamiahua, manglar de Borde*

DESCRIPCIÓN: El perfil tiene tres horizontes de textura predominantemente arcillosa y un cuarto horizonte (el más inferior) tuvo una textura arcillo-limosa (Cuadro 14). Las manchas y motas se hicieron presentes en todos los horizontes con colores más oscuros hacia los horizontes superficiales. Los grumos solo se presentaron en el horizonte ubicado entre los 2 a 7.5 cm. Las raíces no estuvieron presentes en el horizonte superior, pero estuvieron en el inferior con la mayor densidad, lo cual junto con la presencia de limos en esta capa del suelo sugiere que el área habría sufrido de un aporte masivo de sedimentos quizá debido al desbordamiento de la laguna por proceso hidrometeorológicos como los huracanes.

Cuadro 14. Tamiahua, manglar de Borde					
Horizonte (ancho cm)		0 – 2	2 – 7.5	7.5 – 19.5	19.5 – 30
Color		2.5Y 3/1	2.5Y 4/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1
Textura		Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcillo-limoso
Manchas		+ negras	+ negras, + cafés	+ cafés, + negras	+ cafés
Motas		+ negras	+ cafés	+ cafés	+ cafés
Grumos		-	+ café rojizo	-	-
Raíces	Finas	-	+	+	++
	Secundarias	-	+	+	++
	Cable	-	-	-	-

- Localidad: Tampamachoco, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: El suelo tiene una estructura con horizontes bien definidos con horizontes superiores limosos e inferiores arcillosos (Cuadro 15). Presenta una tendencia a mostrar un color más claro en el horizonte más profundo sin llegar a los tonos Gley. La mayor cantidad de raíces se concentra en los horizontes limosos y las raíces fines en los primeros 15 cm por debajo de la superficie.

Cuadro 15. Tampamachoco, manglar Interno					
Horizonte (ancho cm)		0 – 2.5	2.5 – 14.5	14.5 – 19.5	19.5 - 30
Color		2.5YR 2.5/1	10YR 3/1	10YR 3/2	2.5y5/1
Textura		Limo (fino)	Limoso	Limo- Arcilloso	Arcilloso
Manchas		-	-	-	+ negras
Motas		-	-	-	+ negras
Grumos		-	-	-	-
Raíces	Finas	+++	++++	+++	+
	Secundarias	+	+++	++	+
	Cable	-	++	++	+

- Localidad: Tampamachoco, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: Todos los perfiles son limosos sin cambios marcados en color entre horizontes (Cuadro 16). Se presenta una alta densidad de raíces finas en el horizonte superior (0 a 13.5 cm) disminuyendo gradualmente hasta los 22 cm e incrementándose nuevamente en este último horizonte. Esto puede deberse a que estas raíces permiten el anclaje de los mangles, principalmente de la especie *Rhizophora mangle*, en este tipo suelos.

Cuadro 16. Tampamachoco, manglar de Borde					
Horizonte (ancho cm)		0 – 13.5	13.5 – 16	16 - 22	22 -30
Color		7.5YR2.5/1	10YR 4/2	10YR 4/1	10YR 3/1
Textura		limo-hístico	Limoso	Limoso	Limoso- Arcilloso
Manchas		+ cafés	+ negras	+ cafés	+ negras
Motas		-	-	+ negras	+ negras
Grumos		-	-	++++ petróleo	-
Raíces	Finas	++++	++	+	+++
	Secundarias	+++	+	+	+
	Cable	++	+	++	++

- *Localidad: Tumilco, manglar Interno*

DESCRIPCIÓN: El perfil mostró tres horizontes que van de franco limoso en la superficie hasta arcillo-limoso con clara gleyzación en el horizonte inferior (Cuadro 17). Se presentan manchas y grumos en los horizontes medio e inferior y las motas solo en el horizonte inferior. La mayor concentración de raíces finas se observó en el horizonte medio mientras que las raíces de cable estuvieron presentes principalmente en el horizonte inferior.

Cuadro 17. Tumilco, manglar Interno				
Horizonte (ancho cm)		0 – 3	3 - 17	17 – 30
Color		2.5Y 2.5/1	2.5Y 4/1	Gley 1 3/N
Textura		Limoso	Limo-arcilloso	Arcillo-limoso
Manchas		-	+ negras, + grises	+ negras
Motas		-	-	+ negras
Grumos		-	+ blancas	+ blancas
Raíces	Finas	+++	++++	++
	Secundarias	++	++	+
	Cable	-	+	++

- *Localidad: Tumilco, manglar de Borde*

DESCRIPCIÓN: Presentó un perfil con tres horizontes definidos (Cuadro 18). El horizonte superior es orgánico y tiende a ser más arcilloso; hacia los horizontes más profundos los colores van desde oscuros en la superficie hasta gley en el horizonte inferior donde además se observa la presencia de manchas y motas. Las raíces finas tienden a concentrarse en los horizontes superior y medio y las de cable en el medio e inferior.

Cuadro 18. Tumilco, manglar de Borde				
Horizonte (ancho cm)		0 – 16.5	16.5 – 20	20 - 30
Color		7.5YR 2.5/1	7.5Y 3/1	Gley 1 3/N
Textura		Limoso-hístico	Limo-arcilloso	Arcillo-limoso
Manchas		-	--	+ negras
Motas		-	-	+ negras
Grumos		-	-	-
Raíces	Finas	++	++	+
	Secundarias	++	+	+
	Cable	-	++	+

- Localidad: Tecolutla, manglar interno

DESCRIPCIÓN: El suelo presentó un perfil muy uniforme en color. Los limos se presentaron en los dos estratos más superiores y el contenido de arcillas se incrementó hacia los estratos más profundos. Se registró arena en el estrato inferior. Se observaron manchas cafés en la muestra con excepción del perfil profundo y los grumos solo estuvieron ausentes en el trato por debajo del superficial. Raíces finas, secundarias y de cable se observaron en los cuatro estratos siendo más abundantes las finas en los dos estratos más superficiales (Cuadro 19).

Cuadro 19. Tecolutla, manglar de Interno					
Horizonte (ancho)		0 – 7.6	7.6 – 12.3	12.3 – 23.4	23.4 - 31.4
Color		10YR4/1	10YR3/2	10YR4/2	10YR5/1
Textura		Limo-areno-arcilloso	Limo-arcilloso	Arcillo-limoso	Arcillo-arenoso
Manchas		+ café	+ café	+ café rojizo	-
Motas		-	-	+ café rojizo	-
Grumos		+ café oscuro	-	+ negro	+ café
Raíces	Finas	++	++	+	+
	Secundarias	+	++	++	+
	Cable	+	+	+	+
Observaciones		Muy uniforme			

- Localidad: Tecolutla, manglar de borde

DESCRIPCIÓN: A lo largo de todo el perfil la textura de la muestra predominantemente limosa y mostró un color muy similar en los tres estratos. Además, presentó manchas cafés y raíces finas abundantes en los tres estratos. Las raíces de cable se observaron a lo largo de toda la muestra, pero fueron más abundantes a la profundidad de entre 1 y 8.9 cm (Cuadro 20).

Cuadro 20. Tecolutla, manglar de Borde				
Horizonte (ancho)		0 - 1.0	1.0 – 8.9	8.9 – 17.5
Color		7.5YR2.5/1	7.5YR2.5/2	7.5YR2.5/2
Textura		Limoso	Limo-arcilloso	Limo-arcillo-arenoso
Manchas		+ café	+ café oscuro	+ café oscuro
Motas		+ negras	-	-
Grumos		-	-	-
Raíces	Finas	++++	++++	+++
	Secundarias	+	++	-
	Cable	+	+++	+
Observaciones		Horizonte perturbado		

- *Localidad: Nautla (Casitas), manglar Interno*

DESCRIPCIÓN: La muestra presentó cuatro estratos diferenciados fácilmente por los cambios de color y textura donde el más superficial fue de textura arcillosa y por debajo de este estrato las texturas cambiaron gradualmente yendo desde limo-arcillosa hasta arcillosa en el fondo. Esta disposición en la textura de los estratos sugiere procesos muy recientes de aporte masivo de terrígenos desde los terrenos aledaños arrastrados durante las inundaciones como las ocurridas durante la temporada de lluvias del año 2013. Lo estaría apoyado por el hecho de que el estrato superior se encuentra ausente de raíces mientras que el subsecuente presenta una abundancia de raíces finas que disminuyen en cantidad hacia el fondo de la muestra y las raíces de cable solo se hicieron presentes en este último estrato, lo cual es una característica más común en muchos manglares. Con excepción del estrato limo-arcilloso el resto presento presencia de manchas cafés (Cuadro 21).

Cuadro 21. Nautla, manglar de Interno					
Horizonte (ancho)		0 – 2	2 – 4.8	4.8 – 6.5	6.5 – 20
Color		5Y5/1	10YR3/1	2.5Y3/2	2.5Y4/1
Textura		Arcilloso	Limo-arcillosa	Arcillo-limosa	Arcillosa
Manchas		+ negras	-	+ café	+ gris
Motas		-	-	-	+ café
Grumos		-	-	-	-
Raíces	Finas	-	+++	++	-
	Secundarias	-	++	++	+
	Cable	-	-	-	+
Observaciones		Textura de horizontes marcadamente distintos			

- *Localidad: Nautla (Casitas), manglar de borde*

DESCRIPCIÓN: La muestra presentó un estrato superior de textura arcillosa y tres estratos más, dos de textura limosa y el inferior de textura limo-arcillosa. Cada estrato se diferenció fácilmente por notables cambios en su color. La textura del estrato superior y la ausencia de raíces indican que se formó por el arrastre de terrígenos durante inundaciones recientes, de forma similar a lo ocurrido en el manglar interno. Las raíces fueron más abundantes en los dos estratos más profundos al igual que las raíces de cable (Cuadro 22).

Cuadro 22. Nautla, manglar de Borde					
Sitio/parcela		Estero casitas borde			
Horizonte (ancho)		0 – 2.2	2.2 – 7.5	7.5 - 16	16 - -29
Color		5Y5/2	10YR2/1	2.5Y2.5/1	10YR3/1
Textura		Arcillosa	Limosa	Limosa	Limo-arcillosa
Manchas		+ negro	+ café		+ café
Motas				+ negro	
Grumos		+ negro			+ negro
Raíces	Finas	-	++	++++	++++
	Secundarias	-	+	++	++
	Cable	-	-	+++	++
Observaciones		Horizonte superior producto de arrastre durante inundación de terrígenos			

- *Localidad: El Llano, manglar Interno*

DESCRIPCIÓN: Presenta un perfil muy homogéneo sin marcados horizontes en función de las ligeras variaciones en color y contenidos de raíces (Cuadro 23). Las raíces estuvieron presentes desde el primer al tercer horizonte. Predominó el color café a lo largo del perfil sin rastros de gleyzación hacia su parte inferior. Presentó un mayor contenido de raíces finas en el horizonte superior (0 a 4 cm) y disminuyendo en el segundo (4 a 7 cm) y ausentes en el tercer horizonte. Las raíces de cable se presentaron en el segundo horizonte, pero fueron más abundantes en el tercero, en donde también se observaron grumos. El cuarto horizonte se caracterizó por la ausencia general de raíces, así como de manchas, motas y grumos.

Cuadro 23. El Llano, manglar Interno					
Horizonte (ancho cm)		0 – 4	4 – 7	7 – 21.5	21.5 - 30
Color		7.5YR 3/1	10YR 3/1	10YR 3/1	5YR 2.5/1
Textura		Arcillo-limoso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Manchas		-	-	-	-
Motas		-	-	-	-
Grumos		-	-	+ blanquecino	-
Raíces	Finas	++	+	-	-
	Secundarias	+	-	-	-
	Cable	-	+	+++	-

- *Localidad: La Mancha, manglar Interno*

DESCRIPCIÓN: Se observan 4 horizontes con textura limosa en la superficie e incrementando en arcillas hacia el fondo, siendo el último horizonte franco arcilloso

(Cuadro 24). Se observa la presencia de manchas en el segundo horizonte (4.5 a 9 cm) y en el cuarto (15.5 a 33 cm) y en este último también se observaron motas y grumos. Las raíces finas se presentaron en el primer y segundo horizonte; mientras que las de cable se presentan a lo largo del perfil excepto en el segundo horizonte.

Cuadro 24. La Mancha, manglar Interno				
Horizonte (ancho cm)	0 – 4.5	4.5 - 9	9 – 15.5	15.5 - 33
Color	7.5YR 2.5/1	7.5YR 3/1	10YR 3/1	10YR 3/1
Textura	Limoso	Limo-arcilloso	Arcillo-limoso	Arcilloso
Manchas	-	++ café oscuro	-	++ negra
Motas	-	-	-	+ verdosa
Grumos	-	-	+ café	+ café
Raíces	Finas	++	+	-
	Secundarias	+	+	-
	Cable	+	-	++

- *Localidad: La Mancha, manglar de Borde*

DESCRIPCIÓN: Presenta un perfil dominado por limos aunque el horizonte inferior también contiene arcillas (Cuadro 25). Se distinguieron tres horizontes a partir de su textura y color. El horizonte inferior difirió del resto por presentar una alta cantidad de manchas, motas y grumos. Las raíces finas estuvieron presentes solo en el horizonte superior, aunque las de cable se observaron en el horizonte intermedio y fueron más abundantes en el inferior.

Cuadro 25. La Mancha, manglar de Borde			
Horizonte (ancho cm)	0 – 2	2 – 8	8 – 23.5
Color	10YR 3/1	10YR 2/2	10YR 4/1
Textura	Hístico-Limoso-	Limoso	Limo-arcilloso
Manchas	-	-	+ amarillo verdoso, + café
Motas	-	-	+ café oscuro
Grumos	-	+ negros	+ negra
Raíces	Finas	++	-
	Secundarias	+	+
	Cable	-	++

- *Localidad: Laguna de Mandinga Chica, manglar interno*

DESCRIPCIÓN: El suelo presentó una estructura, textura y coloración muy homogénea únicamente cambiando únicamente en el horizonte más profundo en coloración,

espesor y que posee presencia de manchas café. La textura de la muestra fue predominantemente limosa lo que sugiere una baja exportación de materia orgánica desde la zona donde se ubica la parcela. Las raíces finas son más abundantes en la superficie disminuyendo ligeramente hacia el fondo y las escasas raíces de cable observadas se presentaron en el horizonte ubicado entre los 5.5 y 11 cm de profundidad (Cuadro 26).

Cuadro 26. La Mandinga Chica, manglar interno					
Sitio/parcela		Laguna de Mandinga chica Interno			
Horizonte (ancho)		0 - 3	3 – 6.5	6.5 - 11	11 – 21
Color		5YR5/1	5YR3/1	5YR4/1	7.5YR4/1
Textura		Limoso	Limoso	Limo-arcilloso	Limo-arcilloso
Manchas		-	-	-	+ café
Motas		-	-	-	-
Grumos		-	-	-	-
Raíces	Finas	++++	+++	++	++
	Secundarias	+++	++	+	+
	Cable	-	-	+	-
Observaciones					

- Localidad: Mandinga Chica, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: Presenta un perfil limoso con cambios notables en coloración y contenidos en raíces que definieron tres horizontes (Cuadro 27). Se encontró abundante mantillo sobre el horizonte superior. Las raíces finas fueron abundantes en todos los perfiles, pero principalmente en el horizonte inferior predominando las de *R. mangle* sobre las de *A. germinans*. Las raíces de cable tendieron a incrementar hacia los horizontes inferiores siendo en el primero y segundo horizonte de mangle negro y en el tercero de mangle rojo.

Cuadro 27. Mandinga Chica, manglar de Borde				
Horizonte (ancho cm)		0 – 5.5	5.5 - 14	14 - 23
Color		7.5YR 2.5/1	5YR 3/1	5YR 2.5/1
Textura		Limoso	Limoso	Limoso
Manchas		-	-	+ negras + grisáceas
Motas		-	-	-
Grumos		-	-	-
Raíces	Finas	+++	+++	++++
	Secundarias	++	++	++
	Cable	+	++	++++

- Localidad: Mandinga Grande, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: Presenta horizontes bien definidos por su color y textura (Cuadro 28). Las texturas encontradas van de limosa en la superficie a arcillosa en la parte inferior. La presencia de raíces finas se concentró cerca de la superficie mientras que las de cable fueron abundantes en el tercer horizonte (8.5 a 14 cm) y se extendieron hasta el fondo de la muestra.

Cuadro 28. Mandinga Grande, manglar Interno					
Horizonte (ancho cm)		0 – 1	1 – 8.5	8.5 – 14	14 - 24
Color		7.5YR 2.5/1	10YR 3/1	10YR 4/1	7.5YR 4/1
Textura/tipo de suelo		Limoso	Arcillo-limoso	Arcillo-limoso	Arcilloso
Manchas		-	+ café oscuro	+ café oscuro	-
Motas		-	-	-	-
Grumos		-	+ café	-	-
Raíces	Finas	++	+	-	-
	Secundarias	+	-	-	-
	Cable	-	-	++	++

- Localidad: Mandinga Grande, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: El perfil mostró en todos los horizontes con una composición orgánica que va desde materia orgánica franca (histosol) en su horizonte superior hasta diferentes proporciones de limos en el resto de los horizontes, lo que se manifestó en la coloración de los horizontes (Cuadro 29). La presencia de raíces finas fue mayor en el horizonte superior y disminuyó gradualmente hacia los horizontes más profundos siendo inverso a lo observado para las raíces de cable. Es importante resaltar que el horizonte más profundo se diferenció de los anteriores por la presencia de materia orgánica y arena.

Cuadro 29. Mandinga Grande, manglar de Borde					
Horizonte (ancho cm)		0 – 3.5	3.5 – 8.5	8.5 – 16.5	16.5 - 26
Color		10YR 2/1	7.5YR 2.5/1	5YR 3/1	10YR 4/1
Textura		Hístico (orgánico)	Limoso	Limo-arcilloso	Limo-areno-arcilloso
Manchas		+ negras	+ café oscuro	+ café, + rojiza	+ arena (amplia)
Motas		-	-	-	+ negra
Grumos		-	-	-	-
Raíces	Finas	+++	++	+	-
	Secundarias	++	+	+	-
	Cable	+	+	++	+++

- Localidad: Laguna Baja, manglar interno

DESCRIPCIÓN: la muestra presentó horizontes más superficiales de textura limo-arcillosa mientras que los más profundos eran arcillosos. La coloración fue muy similar en todos los horizontes con excepción del ubicado entre los 7 y 13 cm. Las manchas en la muestra sólo faltaron en el horizonte superficial, aunque en éste horizonte se observaron grumos que no estuvieron presentes en el resto de la muestra. La presencia de motas fue alternada entre los horizontes del fondo a la superficie. Las raíces finas fueron más abundantes en los horizontes superiores y estuvieron ausentes en el fondo. Las Raíces de cable no se presentaron en superficie, pero si en el resto de los horizontes (Cuadro 30).

Cuadro 30. Laguna Baja, manglar de Interno					
Horizonte (ancho)		0 – 1.5	1.5 - 7	7 - 13	13 – 28.5
Color		2.5YR2.5/1	2.5YR3/1	10YR4/1	2.5Y4/1
Textura		Limo-arcilloso	Limo-arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Manchas		-	+ café	++ café	++ café rojizo
Motas		-	+ café obscuro	-	+ café rojizo
Grumos		+ café	-	-	-
Raíces	Finas	++	++	+	-
	Secundarias	+	+	+	+
	Cable	-	++	+	+
Observaciones					

- Localidad: Laguna Baja, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: La muestra presentó cinco horizontes con textura limosa y con presencia de abundante materia orgánica vegetal en su superficie la cual disminuyó gradualmente hacia el fondo de la muestra. Los horizontes mostraron muy ligeras diferencias entre sí. Las manchas estuvieron presentes en todos los horizontes con excepción del superficial y fueron muy abundantes en el horizonte del fondo. Aunque más abundantes en los horizontes más superficiales las raíces finas y secundarias estuvieron presentes en todos los horizontes y fueron más abundantes en los horizontes más superiores y disminuyeron hacia el fondo, aunque en el horizonte profundo fueron similares al horizonte intermedio. Las raíces de cable estuvieron ausentes solo en superficie, pero fueron abundantes en el horizonte ubicado entre los 11 y 22 cm (Cuadro 31).

Cuadro 31. Laguna Baja, manglar de Borde					
Horizonte (ancho)	0 – 1.3	1.3 – 7.5	7.5 – 11	11 - 22	22 – 28
Color	2.5YR3/1	7..5YR2.5/1	5YR3/1	7.5YR5/1	75YR4/1
Textura	Hística-limosa	Hística-limosa	Limo-arcillosa	Arcillo-limosa	Arcillosa
Manchas	-	++ café negruzco	+ café claro	+ gris	+ gris oscuro, + amarillo rojizo
Motas	-	-	-	-	-
Grumos	-	-	-	-	-
Raíces	Finas	++++	+++	+	+++
	Secundarias	++++	++	+	+
	Cable	-	+	+++	+
Observaciones	Suelo con aireación/desecación periódica				

- Localidad: Boca de Júpiter, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: La muestra presentó en sus cuatro horizontes texturas que fueron de limo-arcillosa en la superficie a arcillosa en el fondo, aunque su color fue similar en todos los horizontes. Las manchas estuvieron presentes en todos los horizontes, aunque las motas solo se presentaron en el fondo y los grumos fueron ausentes solo en la superficie. El contenido de raíces finas y secundarias disminuyó de superficie a fondo estando ausente en este último, mientras que las raíces de cable se presentaron en los horizontes intermedios, entre los 3 y 14.1 cm (Cuadro 32)

Cuadro 32. Boca de Júpiter, manglar de Interno					
Horizonte (ancho)		0 - 3	0 – 3 - 9	9 – 14.1	14.1 - 30
Color		10YR3/2	10YR4/2	10YR4/1	10YR5/1
Textura		Limo-arcillosa	Limo-arcillosa	Arcillo-limosa	Arcillosa
Manchas		+ grisáceo	+ + café	+ café, + gris oscuro	+ gris claro
Motas		-	-	-	+ café oscuro
Grumos		-	+ negro	+ café oscuro	+ negro
Raíces	Finas	+++	+	-	-
	Secundarias	++	++	+	-
	Cable	-	++	++	-
Observaciones					

- Localidad: Cacahuatate, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: Presenta horizontes con diferente color, pero los horizontes superior e inferior son similares en textura, aunque la presencia de manchas fue la constante a lo largo de todo el perfil, lo que sugiere procesos de lixiviación de materiales de los horizontes superiores y su gradual degradación (Cuadro 33). Las raíces finas decrecen del horizonte de la superficie al del fondo, mientras que las raíces de cable se presentaron en el horizonte intermedio y del fondo. La textura arcillo-arenosa del horizonte intermedio por encima de un horizonte con limos sugiere procesos de aportación desde la cuenca como los que ocurren durante la presencia de eventos hidrometeorológicos como los huracanes e inundaciones.

Cuadro 33. Cacahuatate, manglar Interno				
Horizonte (ancho cm)		0 – 7.3	7.3 – 15.2	15.2 – 25.5
Color		2.5YR 2.5/1	7.5YR 3/2	10YR 2/1
Textura		Limo-arcillo-arenosa	Arcillo-arenosa	Limo-arcillo-arenosa
Manchas		+ cafés	+ cafés	+ negro, +cafés
Motas		-	-	-
Grumos		-	-	+ café rojizos
Raíces	Finas	+++	++	+
	Secundarias	+	+++	++
	Cable	-	++	+

- Localidad: Cacahuatate, manglar de Bordo

DESCRIPCIÓN: Se observan claras diferencias en textura y color en los horizontes encontrados (Cuadro 34). Sin embargo, una constante fue la presencia, en diferentes proporciones, de materia orgánica en forma de tejido vegetal y limos en todo el perfil. La presencia de raíces finas fue muy abundante en los tres horizontes, aunque ligeramente mayor en el superior. Las raíces de cable presentaron su mayor abundancia en el estrato superior y no en el(los) intermedio(s) e inferior como es más frecuente encontrarlo para este tipo de manglares.

Cuadro 34. Cacahuatate, manglar de Bordo				
Horizonte (ancho cm)		0 – 17.5	17.5 – 22.5	22.5 - 27
Color		10YR 2/1	7.5YR 2.5/1	2.5YR 2.5/1
Textura		Hístico	Limoso	Limo-arcilloso
Manchas		-	+ café claras	+ café oscuras
Motas		-	-	-
Grumos		-	-	-
Raíces	Finas	++++	+++	+++
	Secundarias	+++	+++	++
	Cable	+++	+	-

- Localidad: Metzapan manglar Interno

DESCRIPCIÓN: Se observan tres horizontes con textura diferente debido a las proporciones de limos y arcillas, aunque el color del horizonte superior e inferior resultó similar (Cuadro 35). La presencia de manchas y motas fue constante en los tres horizontes lo que sugiere la presencia de partículas orgánicas y su gradual degradación. La abundancia de raíces finas fue similar en los tres horizontes, aunque las de cable se concentraron en el horizonte inferior. La textura arcillosa del horizonte intermedio por encima del horizonte inferior limo-arcilloso sugiere procesos de aportación desde la cuenca como los que ocurren durante la presencia de eventos hidrometeorológicos como los huracanes e inundaciones

Cuadro 35. Metzapan manglar Interno				
Horizonte (ancho cm)		0 - 9	9 – 17.8	17.8 -24.5
Color		7.5YR 3/2	5YR 3/3	7.5YR 2.5/1
Textura/tipo de suelo		Arcillo-limosa	Arcillosa	Limo-Arcillosa
Manchas		+ negras	+ negras	+ cafés
Motas		+ negras	+ negras	+ cafés-
Grumos		-	+ café rojizas	-
Raíces	Finas	++	++	++
	Secundarias	+	++	+
	Cable	-	-	++

- Localidad: Metzapan, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: Presenta un perfil muy homogéneo con textura limosa en diferente proporción y donde los horizontes se distinguieron a partir de ligeras variaciones en color y en el contenido de raíces (Cuadro 36). No se observaron manchas, motas o grumos a lo largo del perfil. Las raíces finas fueron más abundantes en el horizonte intermedio y en el inferior mientras que las de cable se observaron principalmente en el horizonte inferior.

Cuadro 36. Metzapan, manglar de Borde				
Horizonte (ancho cm)		0 – 7	7 - 15	15 – 23
Color		10YR 3/2	10YR 3/1	10YR 2/1
Textura		Limoso	Limoso	Limo-arcilloso
Manchas		-	-	-
Motas		-	-	-
Grumos		-	-	-
Raíces	Finas	++	++++	+++
	Secundarias	+	++	++
	Cable	-	-	++

- Localidad: Huazuntlán, manglar Interno

DESCRIPCIÓN: Se observa un perfil dominado por arcillas en todos los horizontes. Se distinguen 5 horizontes por la combinación de los cambios de color, contenido de raíces y la presencia de manchas, motas y grumos (Cuadro 37). Las manchas fueron muy heterogéneas en color en cada horizonte, pero se observaron en todos los horizontes. Estuvo ausente las motas y grumos en los dos primeros horizontes (0 a 6.3 cm) pero no en el resto de los horizontes. El contenido de raíces finas fue mayor en el horizonte superior, disminuyendo en los siguientes dos e incrementando nuevamente su densidad en el cuarto horizonte (12.5 a 22.2 cm) para disminuir en el horizonte más profundo. Las raíces de cable estuvieron presentes a partir de los 12.5 cm de profundidad. Por la variación en las cantidades de raíces finas y en la textura del sustrato sugiere el aporte de sedimentos por eventos hidrometeorológicos.

Cuadro 37. Huazuntlán, manglar Interno						
Horizonte (ancho cm)		0 – 3.2	3.2 – 6.3	6.3 – 12.5	12.5 – 22.2	22.2 – 26.5
Color		10YR 3/2	7.5YR 3/2	7.5 YR 3/1	10YR 4/2	10YR 3/1
Textura		Arcillo-limoso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Manchas		+ café	+ negras, + cafés	+ cafés, + amarillas	+ cafés, + amarillas	+ café amarillento, + negras
Motas		-	-	+ negras	+ cafés	+ negras
Grumos		-	-	+ rojizas	+ rojizas	+ rojizas
Raíces	Finas	++++	++	+	+++	++
	Secundarias	++	+	+	++	+
	Cable	-	-	-	++	+

- Localidad: Huazuntlán, manglar de Borde

DESCRIPCIÓN: El horizonte de la superficie se muestra como un histosol y por debajo de éste estuvo dominado por limos de diverso grosor (Cuadro 38). La presencia de raíces finas fue constante a lo largo de todo el perfil, aunque en el horizonte inferior (19 a 24.5 cm) fueron más densas al igual que las raíces de cable, en estas últimas en los horizontes superiores. Su presencia disminuyó o fue nula en los horizontes más superficiales.

Cuadro 38. Huazuntlán, manglar de Borde				
Horizonte (ancho cm)	0 – 6.5	6.5 – 10.5	10.5 – 19	19 – 24.5
Color	5YR 2.5/1	10YR 2/1	10YR 3/1	7.5YR 2.5/1
Textura	Hístico	Limoso (grueso)	Limo (fino)	Limo (fino) + hístico + arcilloso
Manchas	-	-	-	-
Motas	-	-	-	-
Grumos	-	-	-	-
Raíces	Finas	+++	++	+++
	Secundarias	+	+	++
	Cable	-	-	+

En general, los manglares se ubican en lagunas costeras y presentan suelos con mezcla de limos y arcillas en diferentes proporciones y en algunos con la presencia de arenas. Destaca en el manglar de borde que se presenta una mayor proporción de limo en comparación con el manglar interno donde se observan casi en la misma proporción limos y arcillas en los diferentes sitios monitoreados.

Productividad Primaria (hojarasca, raíces y madera)

Se presentan los resultados finales del monitoreo de la producción primaria en los sitios las ocho localidades evaluadas en el Proyecto KN002 de CONABIO (junio de 2013 a Julio de 2016). Los resultados son expresados en g/m² en la hoja del archivo de Excel (Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx) con el nombre de **Producción de hojarasca**. Del mismo modo se actualizan las figuras de producción primaria para cada especie (*Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*) y por geoforma (**borde** e **interno**), así como para las tres especies juntas (Figuras 47a a 50b). Para la generación de las gráficas se siguió el mismo criterio de los parámetros del agua intersticial y se promediaron los dos sitios de cada localidad para cada tipo de manglar (borde e interno). A continuación, se describen los resultados de producción primaria por especie de manglar, así como la tendencia de la producción de las tres especies en conjunto, para este caso particular se consideran la suma de los promedios de cada especie y cada componente para generar las Figuras 50a y b. Para cada especie se considera el valor registrado en la base de datos en Excel Libros_Variables_InfFinal_KN002.xlsx.

- *Avicennia germinans*

La producción primaria del mangle negro en la zona norte (Figura 47a) presenta un patrón estacional de variación y son menos productivos que los manglares del sur (Figura 47b). La localidad de La Mancha tiene la producción más alta tanto en el manglar de borde (48.14 g/m^2) como en el interno (53.44 g/m^2), con el mayor aporte del componente hojas, seguido de propágulos, ramas y flores. Le sigue Pueblo Viejo (33.85 g/m^2 en borde y 42.79 g/m^2 en interno) y Tamiahua (28.14 g/m^2 en borde y 36.18 g/m^2 en interno). En menor proporción están las localidades de Tuxpan y finalmente Tecolutla es la localidad con menor producción de mangle negro en el norte, principalmente en el manglar de borde con una producción de 0.32 g/m^2 . En los manglares de las localidades del sur del Estado (Figura 47b), se registra los valores más altos de producción de hojarasca en general. El sitio con la mayor producción de hojarasca de mangle negro es Boca de Júpiter con 164.89 g/m^2 en el manglar interno y 96.53 g/m^2 en el manglar de borde. En Costa Norte se registra la menor producción primaria para esta especie y se mantiene con 0.19 g/m^2 en el manglar interno, seguida de Cacahuatate con 1.89 g/m^2 en el manglar de borde. En la Figura 47b se puede observar que existe un aporte continuo de hojas en todas las localidades, el componente propágulos presenta un mayor aporte en las localidades de Mandinga y Alvarado, seguido de El Ostión. La localidad de Sontecomapan es la de menor productividad de hojarasca para *A. germinans* particularmente el manglar de borde, donde los dos sitios que lo conforman registran valores bajos de producción (1.89 g/m^2 en Cacahuatate y 2.86 g/m^2 en Costa Norte). En ambas figuras se observa un marcado proceso fenológico ya que la producción de propágulos se incrementa después de la temporada de mayor aporte de flores, coincidiendo este proceso con un patrón estacional que es más evidente en los manglares del sur en las localidades de Mandinga, Alvarado y El Ostión y al norte en La Mancha y Tamiahua, tanto en el **manglar interno** como en el de **borde**.

- *Laguncularia racemosa*

El mangle blanco es la especie con menor producción primaria de hojarasca en comparación con las otras dos especies, debido a la baja ocurrencia de la especie en los sitios monitoreados. En los manglares del norte (Figura 48a), Tecolutla es la localidad con mayor producción de hojarasca de mangle blanco tanto en el manglar de borde como en el interno, registrando en el sitio Tecolutla una producción de 90.86 g/m^2 en el manglar interno y 73.40 g/m^2 en el sitio Nautla para el manglar de borde. Los componentes con mayor aporte continúan siendo las hojas y en menor proporción las

ramas, propágulos y flores. Los sitios con menor producción de hojarasca de mangle blanco son Tuxpan y La Mancha para ambas geoformas. En el manglar de borde de Tampamachoco no se registró producción y para Tumilco sólo 0.19 g/m^2 . La producción en el manglar interno también fue muy escasa fluctuando de 0.13 a 0.14 g/m^2 en Tampamachoco y Tumilco respectivamente. La Mancha conserva el mismo patrón y la producción de hojarasca de *L. racemosa* oscila de 0.32 g/m^2 en El Llano a 1.28 g/m^2 en La Mancha para el manglar interno, y el manglar de borde La Mancha registra una producción de 2.5 g/m^2 . En Tamiahua existe una escasa producción del mangle blanco en el manglar de borde de Pueblo Viejo alcanza un valor de 33.04 g/m^2 .

En la región sur (Figura 48b) se observa una mayor producción de hojarasca de mangle blanco. El manglar interno de Metzapan continúa registrando la mayor producción para esta especie con 119.12 g/m^2 y 55.92 g/m^2 en el de borde, con un pico del componente propágulos al inicio del monitoreo (octubre 2013). Sin embargo, considerando el aporte de los dos sitios por localidad (Figura 48b), El Ostión (Metzapan-Huazuntlán) presenta menor producción en comparación con el manglar interno de Sontecomapan, donde el aporte total de mangle blanco alcanza un valor de 117.65 g/m^2 en Costa Norte y 72.16 g/m^2 en Cacahuatate, notándose que el componente hojas es el de mayor aporte seguido de propágulos, ramas y flores. Por otro lado, en los manglares de Alvarado se observa un mayor aporte del componente propágulos en el manglar interno, así como en el de borde ligeramente, registrando una producción total de 71.44 g/m^2 y 46.24 g/m^2 para el manglar interno y de borde respectivamente, ambos en Laguna Baja que fue el sitio con mayor aporte entre los tres sitios que conforman la localidad. Los manglares de Mandinga fueron los de menor producción en esta zona de monitoreo, con sitios donde no se detectó producción para el mangle blanco o fue muy escasa y registra valores entre 0.09 para Mandinga Grande y 16.86 g/m^2 en Mandinga Chica, donde el componente de mayor aporte también son las hojas.

- *Rhizophora mangle*

En general se observa que la producción de hojarasca del mangle rojo es mayor en el manglar de borde con respecto al manglar interno en todos los sitios monitoreados. En los manglares del norte (Figura 49a) la localidad de Tecolutla se mantiene con la mayor producción primaria y registra un valor de 167.68 g/m^2 en el sitio del mismo nombre y 107.00 g/m^2 en Nautla, seguido de la localidad de Tuxpan con producciones de 84.22 g/m^2 para Tampamachoco y 147.81 g/m^2 en Tumilco, seguida de las localidades de Tamiahua y La Mancha con menor producción. En el manglar interno de esta zona las localidades de Nautla y La Mancha presentan los valores sobresalientes, con

producciones de 39.57 y 24.55 g/m² respectivamente. En todos los sitios las hojas son el componente con mayor aporte. Sin embargo, Tecolutla, Tuxpan y La Mancha presentan una mayor proporción de flores y propágulos.

En los manglares de borde del sur (Figura 49b) se registra la mayor producción para el mangle rojo en Laguna Socorro (230.35 g/m²) de la localidad de Alvarado. Sin embargo, en la gráfica no se observa esta tendencia debido a que se considera el promedio de los tres sitios (en este caso) por geoforma y el aporte de la producción de Laguna Baja y Boca de Júpiter es relativamente bajo. En los manglares internos del sur la producción de mangle rojo es escasa; sin embargo, sobresale Metzapan con un valor de 211.40 g/m² siendo el más alto. La localidad de Sontecomapan se mantiene entre las de mayor producción de hojarasca de mangle rojo en comparación con los otros sitios durante el periodo de estudio teniendo una producción de 176.10 g/m² en Cacahuatate y 170.66 g/m² en Costa Norte para el **manglar de borde** y de 4.91 y 42.38 en el manglar interno para Cacahuatate y Costa Norte respectivamente. En general el mayor aporte de hojarasca de mangle rojo es el componente hojas, seguido de propágulos, flores y ramas, y se puede observar un patrón cíclico que es más evidente en los aportes de flores y propágulos en el manglar de borde durante todo el período de monitoreo (Figuras 49b).

- *Las tres especies juntas*

La producción primaria, en general, presenta la mayor productividad en los manglares de borde tanto en el norte como en el sur. Las hojas continúan siendo el componente principal de aporte, seguido de flores y propágulos y se aprecia ligeramente una tendencia cíclica (estacional) en las diferentes localidades (Figuras 50a y b). En los manglares de la porción norte del estado, el manglar de borde de La Mancha tiene la mayor producción primaria (245.38 g/m²) registrada al principio del proyecto (septiembre 2013), le siguen de Tecolutla, Tamiahua y Tuxpan. En contraste con el manglar interno, la localidad de Tuxpan registra la menor producción (8.77g/m²) seguido de Tecolutla con 9.07 g/m² y Tamiahua con 9.22 g/m². Las hojas son el mayor aporte en general para todas las localidades de la región norte; sin embargo, se observa que en La Mancha el componente propágulos tiende a ser mayor en relación a las demás localidades.

En la región sur resaltan los **manglares de borde** de Alvarado, Mandinga y Sontecomapan, y la mayor producción primaria se registra en el manglar de borde de Alvarado con 251.70 g/m² siendo esta la mayor registrada en todas las localidades para las tres especies, le siguen el manglar de borde de Mandinga con 245.10 g/m², en estas localidades se observa que los propágulos tienen un aporte importante en la producción

de hojarasca. En Sontecomapan se registra una producción de 181.78 g/m², y en esta localidad se observa que el mayor aporte en la producción es el componente flores (Figura 50b). En el **manglar interno** de las localidades del sur, Mandinga registra la producción más alta con 213.79 g/m², seguida de Alvarado (176.72 g/m²) y Sontecomapan (161.36 g/m²).

La productividad primaria entre los diferentes tipos de manglar mantiene un patrón similar en cada localidad durante todo el periodo de monitoreo. En ambas figuras se observa un patrón cíclico en la producción de propágulos en mayor proporción en las localidades de Mandinga y Alvarado particularmente en los meses de octubre y noviembre de 2015, y en menor proporción en La Mancha, El Ostión y Sontecomapan.

- *Producción de raíces finas*

En la Figura 51 se presentan los resultados de la producción de raíces finas en los sitios de las ocho localidades tanto en el manglar interno como en el de borde. En general se observa que el mayor aporte de raíces se encuentra en los manglares de borde, la producción de raíces de tipo cable (0.51-2.5 cm) es mayor hacia el norte del estado, particularmente en Tumilco (2.39 g) en el borde y Tampamachoco (3.57 g) en el interno. Las raíces finas presentan su mayor producción también en los manglares de borde y registran un valor de 2.92 g en Laguna Socorro. A nivel de geoformas se observa que el aporte total de raíces es ligeramente mayor en los manglares internos del norte del estrato, particularmente en los sitios de Tampamachoco y Nautla.

- *Producción de madera (troncos)*

La biomasa en pie de la madera estimada con el DAP y los coeficientes estimados por Day et al. (1987). La diferencia entre biomasa de los troncos entre 2013 y 2016 se observa que, en Laguna Baja, *Avicennia germinans* tiene el valor más alto en crecimiento de madera siendo de 1.8 ton/ha en el manglar de borde y en Metzapan 4.14 ton/ha en el manglar interno. *Laguncularia racemosa* registra un crecimiento de madera mayor en Metzapan en el manglar de borde con 0.69 ton/ha y en el interno en Tecolutla con 0.44 ton/ha. Finalmente, en *Rhizophora mangle* el mayor crecimiento en madera se registró en Metzapan manglar de borde (1.58 ton/ha) y en Costa Norte en el manglar interno (0.41 ton/ha).

En la figura 52 se observa la biomasa de los troncos en cada uno de los sitios a lote largo del gradiente latitudinal. No se observa un patrón de distribución de la biomasa en relación a este gradiente. Es importante destacar que en el manglar de borde *Avicennia germinans* en Metzapan aporta 10.15 ton/ha en 2013 y 9.4 Ton/ha en 2016. En el

manglar interno, Mandinga Chica aporta en 2013 10.09 ton/ha y en 2016 10.92 ton/ha. El mayor aporte de biomasa de *Laguncularia* es en Tecolutla en el manglar interno con 7.49 ton/ha. En el manglar de borde, *Rhizophora mangle* aporta la principal biomasa en relación con las otras especies; con valores de 6.50 ton/ha en Mandinga Grande. Si está presente en el manglar interno, hay valores de 5.9 ton/ha.

CONCLUSIONES

- En el estado de Veracruz la distribución de los manglares no es continua, y se distribuye en forma de fragmentos.
- Se establecieron 33 parcelas de 20 m X 20 m ubicadas en 8 localidades a lo largo del litoral del estado de Veracruz y en cada una de ellas, se ubicaron dos sitios y en cada sitio dos geoformas (manglar interno y manglar de borde)
- Se caracterizó la estructura de cada localidad en dos ocasiones, al inicio del proyecto en 2013 se marcaron 3,189 árboles entre juveniles y adultos, y al final en 2016 se volvieron a medir 2,580 con una diferencia de 609 menos individuos de estos el 74% corresponde a juveniles.
- El 52% son *Avicennia germinans*; 35% de *Rhizophora mangle* y 13% de *Laguncularia racemosa*.
- La diferencia en el área basal entre la caracterización de la estructura entre los dos censos se atribuye a la pérdida de árboles, probablemente a eventos antrópicos como son la introducción del ganado a los manglares donde pastorean sobre las plántulas y tumban o pisotean los juveniles. En el manglar de borde el área basal es menor en relación al manglar interno y no se observa un patrón claro en función a la latitud para ambas geoformas.
- El mangle negro registra mayor densidad en ambas geoformas de ambas caracterizaciones, registrando la más alta densidad en Metzapan (3600 ind/ha) en el manglar de borde durante el 2016.
- Se observa la altura máxima en el manglar de borde en el sur del estado (Sontecomapan y Alvarado) y en el norte solo Tecolutla; la altura mínima no presenta un patrón definido tanto en el norte como en el sur.
- Existe una ligera variación en el índice de importancia relativa para el mangle negro y rojo entre los dos censos en el manglar interno.

- Las comunidades monoespecíficas de *Avicennia germinans* se ubican principalmente en el norte del estado.
- Se observan diferencias significativas en el crecimiento por geoforma y especie en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.
- La salinidad y el potencial redox tienen una respuesta al gradiente latitudinal, puesto que la salinidad disminuye hacia el sur donde probablemente hay más influencia de los ríos asociados a las áreas de manglar. El potencial redox es más negativo en el sur (Mandinga y Sontecomapan) y menos negativo en el norte (Tamiahua).
- Por la salinidad se clasifican los manglares como salinos los manglares de Tamiahua, Tuxpan, La Mancha, Mandinga y Ostión; mientras que los manglares en Tecolutla, Alvarado y Sontecomapan tienden a ser estuarinos.
- La productividad del bosque se evaluó mensualmente a través de la caída de hojarasca colectada a través de las trampas instaladas en todas las localidades. Este estudio de largo plazo, permitió detectar que los ciclos de hojarasca no son iguales, ya que en 2013 y 2016 presentaron valores más altos con respecto a 2014-2015.
- Por geoforma, los manglares de borde son más productivos; latitudinalmente, son más productivos en las localidades del centro del estado (La Mancha y Sontecomapan) en relación con las del norte y sur.
- En cuanto a la producción de flores, tanto las localidades en el norte como en el sur del estado la mayor producción se registra de mayo a junio, mientras que los propágulos de agosto a enero. Tamiahua la mayor producción de propágulos en el manglar interno se presenta en marzo y abril, mientras que las localidades al sur en septiembre y octubre.
- En general la producción primaria de hojarasca también muestra un patrón cíclico con pulsos en la producción de flores y propágulos durante el verano-otoño (junio a noviembre) de cada año.
- En el manglar interno, *Avicennia germinans* tiene los valores más altos en biomasa, y para el manglar de borde *Rhizophora mangle*. *Laguncularia racemosa* es importante en los manglares internos en Tecolutla y Costa Norte.

- Los estudios de largo plazo permiten conocer los ciclos de productividad, dinámica de la población de las diferentes especies.
- En enero-febrero de 2017 se quitaron las trampas de hojarasca que estaban asociadas a las parcelas permanentes en cada geoforma, sitio y localidad. Se procedió a marcar bien las esquinas de cada una de las parcelas con la posibilidad de mantener el proyecto en cuanto a realizar una medición anual de la estructura, acreción y subsidencia, y parámetros fisicoquímicos del agua intersticial. Por ahora solo podríamos mantener a este nivel el seguimiento a largo plazo de sitios de manglar.

REFERENCIAS

Acevedo, F. y A. Luna 2006. Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al Estado de Veracruz en el año. In: Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. <http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/inundaciones.html>

Acosta-Velázquez, J., T. Rodríguez Zúñiga 2007. Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1ra. etapa". Informe Final del Proyecto DQ056. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

Adame, M.F., A. Zaldivar-Jimenez, C. Teutli, J. P. Caamal, M.T. Andueza, H. López-Adame, R. Cano, H.A. Hernández-Arana, R. Torres-Lara y J.A. Herrera-Silveira 2012. Drivers of Mangrove Litterfall within a Karstic Region Affected by Frequent Hurricanes. *Biotropica*, 45: 147-154.

Aguilar S.A. 1988. Materia Orgánica In: Aguilar S.A (Ed.) Métodos de Análisis de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo

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

Arreola-Lizárraga, J.A., F. J. Flores-Verdugo y A. Ortega-Rubio 2004 Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Botany*, 79(2): 137-143

Arriaga, L., E. Vázquez, J. González, R. Jiménez, E. Muñoz, V. Aguilar (coordinadores). 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México

Arriaga, L., V. Aguilar, J. Alcocer. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Bravo, M. 2011. Variables ambientales asociadas a la fisonomía del manglar de la laguna El Llano, Veracruz: hacia una propuesta de restauración ecológica. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.

Castañeda, L.O., and Contreras, F.E., 2001. Serie bibliográfica comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos. México: UAMI- CEDELM.

Castañeda, O. y F. Contreras 2003. Ecosistemas costeros mexicanos una actualización, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
[<http://investigacion.izt.uam.mx/ocl/mapa.html>] consultado el 17 de agosto de 2013

Castañeda-Moya, E., R.R. Twilley, V.H. Rivera-Monroy, B.D. Marx, C. Coronado-Molina, y S.M.L. Ewe 2011. Patterns of root dynamics in mangrove forests along environmental gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. *Ecosystems*.

Chapman, V.J., 1976. Mangrove vegetation. J. Cramer, Vaduz

Chen, Z., Stanley, D.J. y Wright, E.E., 2000. Selective Sorting, Storage and Progressive Dilution of Sediment in Two Modern Deltas, Veracruz, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 16(2), 470-481. Royal Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208

Cintrón G. y. Schaeffer-Novelli, 1983. Introducción a la ecología del manglar. UNESCO, Montevideo, 109 p

Cintrón G. y 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.

CONABIO 1998. García E. (1998) "Climas" (Clasificación de Köppen, modificada por García). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). Escala 1:1,000,000. México.

Consejo de Recursos Minerales, 1994. Monografía geológica - minera del Estado de Veracruz. Ed. Pedagógica Iberoamericana, 123 p

Dawes, C., 1986. Botánica Marina. Limusa: México, 673 p.

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

Day, Jr., J.W., C.A. Coronado-Molina, F.R. Vera-Herrera, R.R. Twilley, V.H. Rivera-Monroy, H. Alvarez-Guillen, R.H. Day, W.H. Conner 1996. A 7-year record of aboveground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany* 55:39–60.

Donoso, C. 1992. Ecología Forestal; el bosque y su medio ambiente. 5ª edición. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 369 p.

FAO 2009. Guía para la Descripción de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 111 pp

Félix-Pico, E., O. E. Holguín-Quñones, A. Hernández-Herrera, F.J. Flores-Verdugo 2006. Producción primaria de los mangles del Estero El Conchalito en Bahía de La Paz (Baja California Sur, México). *Ciencias Marinas*, 32(1A): 53-63

- Feller, I.C., Lovelock, C.E. Berger, U., McKee, K.L., Joye, S.B. y Ball M.C. 2010. Biocomplexity in Mangrove Ecosystems. *Annu. Rev. Marine. Sci.*, 2:395-417.
- Flores, F., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz, H. López, D. Benítez y A.C. Travieso, 2007. La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80(Suplemento): 33-47
- González Medrano F. 2003. Las comunidades vegetales de México. [en línea]: documento electrónico en internet Fuente INE-SEMARNAT [consultado 15 octubre 2016]. Disponible en: <<http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/421.pdf>>
- Hernández Santana, J.R., A. P. Méndez, M. Figueroa. 2006. Informe Geomorfológico, Sistema Costero del Estado de Veracruz: Fisiografía, geomorfología, riesgos y ecología de manglares y dunas costeras, implicaciones para su manejo. Informe Técnico SEMARNAT, 2002, COI-0126
- Hernández Santana, J. R., A. P. Méndez Linares y M. Figueroa Mah Eng 2007. Caracterización del relieve Plio-Cuaternario del entorno costero del estado de Veracruz, México. *Rev. C & G.*, 21 (3-4), 113-131.
- Hernández-Trejo H. 2009 Efecto de las perturbaciones naturales y antropogénas en la estructura del manglar de La Mancha, Veracruz. Tesis de Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Instituto de Ecología, A.C.
- Hernández-Trejo, H., Á.G. Priego-Santander, J. López-Portillo y E. Isunza-Vera 2006. Los paisajes físico-geográficos de los manglares de la laguna de La Mancha, Veracruz, México. *Interciencia* 31:211-219.
- Holdridge, L.R.; W. Grenke, W.H Hatheway, T. Liang; J.A. Tosi. 1971. Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study.
- INEGI 2005. Metodología para la actualización de Conjuntos Edafológicos Serie II. Dirección General Adjunta de Normatividad, Dirección de Información sobre Recursos Naturales y Medio Ambiente, Subdirección de Suelos y Aguas, Departamento de Edafología, 26 pp.
- IMTA 2006. ERIC III: Extractor rápido de información climatológica Versión 1.0
- INEGI. 2010. Climas de Estado de Veracruz. En: Información geográfica/Mapa de Climas/Veracruz de Ignacio de la Llave. (<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/ver/clim.cfm?c=444&e>)
- Jiménez, M., L.G. Matías R., O.A. Fuentes M. y R. Prieto G., 2007. Ciclones Tropicales. Serie Fascículos. CENAPRED, Sria. Gobernación. 55 pp
- Lara Domínguez, A.L. 2011 Recursos Hídricos. Resumen Vol. I: 285-287. In: La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. [en línea]: documento electrónico en internet CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. [consulta: 15 de julio 2016]. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Veracruz/Volumen_I/Seccion_IV-B.pdf []
<http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html#veracruz>
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra 1985 Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one-year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacan, Tabasco, México. *Biotropica*, 17(3): 186-190
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra 1989a. Response of three mangroves to salinity in two geoforms. *Functional Ecology*, 3(3): 355-361

- López-Portillo, J. y E. Ezcurra 1989b. Zonation in mangrove and salt marsh vegetation at Laguna de Mecoacán Mexico. *Biotropica* 21(2): 107-114
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra, 2002. Los manglares de México: Una revisión. *Madera y Bosques*, (Núm. Esp.) 27-51
- López-Portillo, J., M.L. Martínez, P. Hesp, J.R. Hernández, A.P. Méndez, Víctor Vásquez, L.R. Gómez, O. Jiménez, S. Gachuz. 2011. Atlas de las Costas de Veracruz: Manglares y Dunas. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. 249 p.
- López-Portillo, J. A., A. L. Lara-Domínguez, E. Sáinz Hernández, V. M. Vásquez, M. Rodríguez, M. del C. Martínez, O. Bartolo, I.I. Ortiz y G. Alvarado. 2014. Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco para la rehabilitación del manglar y de sus servicios ambientales Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HH025. México D. F.
- Méndez-Linares, A.P. 2003. Fisonomía y estructura de diferentes asociaciones de manglar y su relación con la geomorfología del abanico aluvial deltaico de Arroyo Seco, Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Posgrado en Ciencias Biológicas, facultad de Ciencias, U.N.A.M
- Méndez, A.P., J. López-Portillo, J.R. Hernández-Santana, M.A. Ortiz-Pérez y O. Oropeza-Orozco 2007 The mangrove communities in the Arroyo Seco deltaic fan, Jalisco, Mexico, and their relation with the geomorphic and physical- geographic zonation. *Catena* 27: 127-142
- Moreno-Casasola, P., Rojas-Galaviz, J.L., Zárate-Lomelí, D., Ortiz Pérez, M., Lara-Domínguez, A.L. y Saavedra Vázquez, T. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: Distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática, *Madera y Bosques*, Número especial: 61-88
- Ortiz Pérez, M.A. y A.P. Méndez Linares 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, Boletín 39: 68-91
- Soto, M., L. Gama y M. Gómez 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3(2): 31-40
- Tam, N.F.Y. y Y.S. Wong 1998. Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution*, 103: 245-261
- Tejeda, A., 2006. Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante 2005. In: *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. Universidad Veracruzana. <http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/inundaciones.html>
- Thom, B.G. 1967. Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tabasco, Mexico. *Journal of Ecology*, 55: 301-343
- Twilley, R. y J. Day. 1999. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems, pp. 127-152. In: A. Yáñez-Arancibia y A.L. Lara-Domínguez (eds.). *Ecosistemas de Manglar in América Tropical*. Instituto de Ecología A.C., Xalapa México, UICN International Wetland Program, Costa Rica, NOAA/NMFS South East Fisheries Center, Beaufort NC, USA
- Utrera-López, M.E y P. Moreno-Casasola 2008. Mangrove litter dynamics in La Mancha Lagoon, Veracruz, Mexico. *Wetlands Ecol Manage*, 16(1): 11-22.
- 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.

Varona-Cordero, F., F.J., Gutiérrez-Mendieta y V.H. Rivera-Monroy 2014. In situ response of phytoplankton to nutrient additions in a tropical coastal lagoon (La Mancha, Veracruz, Mexico). *Estuaries and Coasts* 37: 1353-1375

Zavala-Hidalgo, J., R. de Buen Kalman, R. Romero-Centeno, y F. Hernández Maguey, 2010. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas, p. 249-268. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 pp.