

Informe final* del Proyecto FN007

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

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	(228) 8421802, Fax (228) 8421823
Fecha de inicio:	Julio 31, 2008
Fecha de término:	Octubre 24, 2012
Principales resultados:	Hojas de cálculo, fotografías, informe final.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	López Portillo, J. A., Lara Domínguez, A. L., Martínez García, M. C., Hernández Sánchez, M., Rodríguez Rivera, M., Ureña Aranda C., Galán Breth, R. I., Vásquez, V. M. y E. Sáinz Hernández. 2012. 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. Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FN007. Ciudad de México

Resumen:

En respuesta a la convocatoria para el seguimiento de manglares convocada por CONABIO, se propone un proyecto de monitoreo de humedales de manglar en tres regiones del Golfo de México y del Caribe localizadas en los estados de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en los que se encuentra alrededor del 50% de la extensión total nacional. El enfoque del proyecto es interinstitucional y se enmarca en una estrategia de escalas temporales y espaciales amplias para llevar a cabo una comparación de los cambios estructurales y funcionales de los manglares en respuesta el grado de conservación o deterioro por impactos antrópicos y naturales. Esta estrategia permitirá definir y establecer variables críticas para el diagnóstico y la evaluación de los manglares en varias regiones del país con miras a contar finalmente con modelos predictivos para una mejor comprensión acerca del funcionamiento de estos ecosistemas. Este proyecto abarca 5 años y representa un primer esfuerzo en la organización de una red de monitoreo nacional de bosques de manglar dentro del marco conceptual de la Red Mexicana de Investigación Ecológica a largo Plazo.

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



INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.



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

Jorge López-Portillo (Coordinador), Ana Laura Lara Domínguez, Víctor M. Vásquez, Eduardo Sáinz Hernández, Ma. del Carmen Martínez García, Olga Bartolo Mateos, Moisés Rivera Rodríguez

Colaboración: Dr. Saúl Miranda Alonso y LCA Víctor Benítez Pensado
Subcoordinación de Investigación en Cambio Climático
Centro Estatal de Estudios del Clima
Secretaría de Protección Civil
Gobierno del Estado de Veracruz

Marzo 2012

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	3
GENERALIDADES	3
INTRODUCCIÓN	5
Antecedentes	8
Escenario ambiental	10
Área de estudio	28
Técnicas y métodos	36
Componente I. Caracterización biológica y ambiental	36
Caracterización de la vegetación	36
Caracterización ambiental	39
Ecología	41
Componente II. Monitoreo	42
Línea de monitoreo LTER sobre clima	43
Línea de monitoreo LTER sobre características del sustrato (suelo/agua)	43
Línea de monitoreo LTER sobre productividad primaria	45
Resultados	46
Componente I. Caracterización biológica y ambiental	46
Caracterización de la vegetación	46
Caracterización ambiental	50
Componente II. Monitoreo	57
Línea de monitoreo LTER sobre clima	57
Línea de monitoreo LTER sobre características del sustrato (suelo/agua)	60
Línea de monitoreo LTER sobre productividad primaria	65
Referencias	71

Resumen

Se presentan los resultados de 36 meses de ejecución del proyecto (enero 2009 a diciembre 2011). En general, se destaca que hay una tendencia a ser menos salina el agua intersticial en el sur del Estado de Veracruz. Durante 2009 no se presentaron eventos hidrometeorológicos, 2010 para Veracruz, fue un año muy activo presentándose 4 huracanes y 1 tormenta tropical con incidencia directa en la zona costera del estado y una gran concentración de precipitación que indujo a que disminuyera la salinidad intersticial y cuyos efectos se todavía se observaron en 2011. Mientras que en 2011 se registraron 2 tormentas tropicales y 1 huracán. Los resultados de la caracterización de la estructura de la vegetación, evaluada en 58 parcelas fijas de 10x10, al inicio y al final del proyecto mostraron resultados similares sin grandes variaciones en área basal, altura máxima, diámetro y densidad. El monitoreo de la hojarasca en 36 meses mostro en general pulsos de hojas, asociado a la época de lluvias (agosto – octubre) y durante está época del año también se presentan los valores mas altos en biomasa de propágulos y flores. Todavía no se observa que exista subsidencia o acreción en las áreas de manglar, por lo que es importante continuar con el monitoreo y caracterización de los sitios seleccionados y con la finalidad de que estos resultados se incluyan en los estudios de percepción remota se incrementará el tamaño de las parcelas a 20x20 m que constituye un pixel en las imágenes de satélite y establecer medidas de conservación y restauración en las áreas que así lo requieran como prioridad.

Generalidades

AVANCES DEL PROYECTO EN LA ETAPA

Durante los 36 meses de desarrollo del proyecto se implementaron 58 parcelas de 10x10m en las 8 localidades estas son: Pueblo Viejo–Tamiahua; Tumulco-Tampamachoco, Tuxpan; Tecolutla-Nautla; El Llano–La Mancha, Mandinga, Laguna de Alvarado, Laguna de Sontecomapan y Laguna de el Ostión. Para el estudio de las plántulas se delimitaron 4 parcelas de 1X1m ubicadas en cada vértice de la parcela de 10X10 m, mientras que para los juveniles se caracterizaron en la parcela de 10X10m y no en la de 5X5 m (Figura 23 en metodología).

LOGRO DE METAS RESPECTO DE METAS COMPROMETIDAS

Se lograron el 100% las metas comprometidas

LOGRO DE OBJETIVOS RESPECTO DE COMPROMISO

Se logró el 100% de los objetivos planteados para el proyecto

GRUPO DE TRABAJO

Dr. Jorge López-Portillo (INECOL responsable técnico del proyecto)
Dra. Ana Laura Lara Dominguez (INECOL investigador participante)
M. en C. Víctor M. Vásquez (INECOL, técnico participante)
Fis. Eduardo Sáinz Hernández (INECOL técnico participante)
Biol. León R. Gómez (técnico contratado para el Proyecto)
Biol. Luz del Carmen Lechuga Licona (técnico contratado para el Proyecto)
Biol. Olga Bartolo Mateos (técnico contratado para el Proyecto)
Biol. Alondra B. González Navarro (técnico contratado para el Proyecto)

Dra. Alejandra Vovides (Posgrado INECOL)
Biol. Mariana Bravo Mendoza, (Facultad de Ciencias, UNAM)
Biol. Karla Nicol Hernández Puente (Universidad Veracruzana)
Biol. Mauricio Hernández (Universidad Veracruzana, Campus Tuxpan)
Biol. Mariana Noguez Núñez (Universidad Veracruzana)
Pas Biol. Moisés Rivera Rodríguez (Universidad Veracruzana, Campus Tuxpan)

Además con la colaboración de: Dr. Saúl Miranda Alonso y LCA Víctor Benítez Pensado, Subcoordinación de Investigación en Cambio Climático, Centro Estatal de Estudios del Clima, Secretaría de Protección Civil, Gobierno del Estado de Veracruz en la actualización de los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima correspondientes al periodo de estudio.

DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES EN LA ETAPA

La instalación de los Levelloggers (HOBOS) se restringió a los manglares asociados a la Laguna de Tampamachoco donde actualmente hay 4 colocados los cuales además son parte de los resultados del Proyecto HH025.

ACCIONES DERIVADAS DE LAS DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES

Se realizó una videoconferencia y la reunión presencial se reprogramó para la segunda etapa del proyecto. El objetivo de esta reunión fue discutir y comentar los resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto, así como informar las adecuaciones metodológicas que se realizaron durante las actividades de campo.

El Taller de Trabajo presencial se realizó en la Ciudad de Mérida. Participaron de EPOMEX Dra. Claudia Agraz y Biól. Claudia García Zaragoza; de CINVESTAV Dr. Jorge Herrera, M. en C. Arturo Zaldívar, M. en C. Claudia Teutli; de la Universidad Estatal de Louisiana (LSU) Dr. Víctor Rivera Monroy; de la UJAT M. en C. Humberto Hernández Trejo; de CONABIO M. en C. Yvonne Simms; del INECOL Dr. Jorge López-Portillo, M. en C. Víctor Vásquez, Dra. Ana Laura Lara Domínguez.

OBSERVACIONES RELEVANTES SOBRE EL PRESUPUESTO AUTORIZADO

En general, se recurrió a recursos extraordinarios para completar las actividades de campo y laboratorio, así como para la compra de consumibles en campo.

PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA ETAPA

Se cubrieron las 8 localidades de estudio a lo largo de la zona costera del estado. Se presentan las caracterizaciones de la estructura del manglar que se realizaron durante el primer año y en el último en la 58 parcelas permanentes de 10x10 m. Así como también de los cuadros de 1X1 m para el censo de las plántulas (menor a 0.5 m de altura). Se presentan los resultados de los análisis químicos del sustrato (densidad, MO, N, P y pH). Se presentan los datos de monitoreo de los piezómetros (a 1.2 m y 0.5 m de profundidad) asociados a cada parcela ubicada en los manglares tipo borde e interior en cada sitio de estudio y localidad donde se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial (salinidad, pH, Potencial Redox, Oxígeno disuelto, temperatura). Se presentan los resultados de la variación mensual de la hojarasca a lo largo del gradiente latitudinal en el estado de Veracruz

COMPROMISOS PARA LA ETAPA SIGUIENTE

Implementar las parcelas de 20x20m en las 8 localidades de manglar ubicadas en el sur (Arroyo Moreno, Sistema Lagunar Alvarado, Laguna de Sontecomapan y Estuario Coatzacoalcos – Laguna del Ostión).

Instalación de los SET`s en las 5 localidades de estudio restantes. Ya que se cuenta con todo el equipo y materiales para su instalación.

No se ha podido implementar el SET en los sitios de Pueblo Viejo, Tamiahua, Tumulco, Tecolutla, Nautla, El Llano, Mandinga (Laguna Chica y Laguna Grande), Alvarado (Laguna Baja, Boca de Acula) y Sontecomapan (Cacahuate y Costa Norte), sin embargo se espera que en esta última etapa del proyecto se puedan instalar o bien en la segunda etapa durante la implementación de las parcelas de 20x20m.

Colectar la hojarasca mensualmente de cada localidad y colocar los SET en los sitios de cada localidad

INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz, cuenta con aproximadamente 750 km de litoral, 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 reciban cerca de 4,000 mm de precipitación anual mientras que en la zona norte las lluvias alcancen valores inferiores a los 2,000 mm. 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 hidrológicas influyen en la estructura de un manglar.

En el litoral Veracruzano las comunidades de manglar se distribuyen en fragmentos cuya estructura y distribución está condicionada por la geomorfología del área, el efecto de la acumulación sedimentaria, el régimen hídrico y la erosión de la línea de costa. La cobertura se estima entre 34,089 y 46,121 ha donde al menos se han identificado 34 fragmentos importantes (Moreno-Casasola et al. 2002; Agraz *et al.*, 2006; CONABIO, 2008). Recientemente, López Portillo et al. (2011) delimitaron al menos 814 fragmentos. Estos fragmentos están en su mayoría contenidos en 30 sistemas de manglar asociados a lagunas costeras, estuarios y planicies de inundación que cubren 43,194 ha. La mayor superficie con cobertura de manglar, se localiza al sur del estado en la desembocadura de la cuenca del Río Papaloapan, en el complejo lagunar de Alvarado con 42 % del total. Los ecosistemas que le siguen en porcentaje, ubicados al norte del estado, son el complejo lagunar de Tamiahua y Tuxpan con 19% y 11% respectivamente. En el resto de las localidades el área de manglar puede ocupar áreas de 3 a más de 1500 ha. Las áreas relativamente pequeñas están en sistemas costeros sin protección y/o con planicies de inundación reducida, como las lagunas de El Llano y La Mancha, con una superficie de 108 y 313

ha de manglar respectivamente. Hasta la fecha, existen 6 áreas con manglares protegidas como sitios Ramsar (Ramsar 2002): La Mancha y El Llano (02/02/04), Manglares y humedales de la Laguna de Sontecomapan (02/02/04), Sistema Lagunar de Alvarado (02/02/04), Humedales de la Laguna La Popotera (05/06/05), Laguna de Tamiahua (27/11/05), Manglares y humedales de Tuxpan (02/02/06).

Son pocos los estudios de largo plazo que se han realizado en investigación de manglares así como la estandarización de técnicas y métodos de muestreo que permitan hacer comparables los resultados y por otro lado que ayuden a entender los servicios ambientales del ecosistema de acuerdo a sus escenarios geológicos, topográficos y climáticos. No obstante de la importancia ecológica y económica del ecosistema en la región del Golfo de México.

Por tanto el proyecto plantea un esquema conceptual para analizar las propiedades ecológicas de los diferentes escenarios a lo largo del Golfo de México y evaluar la vulnerabilidad de los manglares a la variedad de perturbaciones naturales e inducidas por el hombre. En la creación de este esquema se enfatizó en las propiedades biogeoquímicas y de productividad primaria. En este informe se presentan los resultados del primer año de monitoreo haciendo hincapié en las variables de acuerdo a los lineamientos de monitoreo de la Red Mexicana de Investigación Ecológica de Largo Plazo (Mex-LTER 2010). Los sitios de investigación ecológica a largo plazo son áreas de referencia y experimentación sobre patrones y procesos ecológicos y como tales son fundamentales para una gestión adecuada y sólida de recursos naturales.

Los cuatro niveles de monitoreo de la Red Mex-LTER son: **Nivel básico**, que se refiere a información descriptiva del fenómeno en estudio; **Nivel uno**, corresponde al seguimiento de variables vinculadas a la estructura del ecosistema, que cambian poco y son relativamente resistentes a las perturbaciones ambientales; **Nivel dos** se refiere al seguimiento de variables que determinan procesos del ecosistema y que cambian a escalas temporales pequeñas, por lo que los programas de monitoreo son más detallados; y **Nivel tres** que corresponde a aquellas que para su medición requieren de una infraestructura técnica y humana muy especializada, o que dada la naturaleza del fenómeno requiere de monitoreo muy intenso y prolongado.

Objetivo General

Establecer sitios de monitoreo de manglar que cumplan con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo y que sirvan para evaluar los cambios

estructurales y funcionales de estos ecosistemas, así como contribuir a sentar las bases de una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano.

Objetivos Particulares

-Caracterizar los tipos de manglar y sus coberturas en la PY (Península de Yucatán), en el Estado de Campeche incluyendo el área natural protegida Laguna de Términos y en el Estado de Veracruz de acuerdo a sus características estructurales y a las variables ambientales que los regulan.

-Identificar las características estructurales de la vegetación y ambientales que sirvan de línea de base y soporte para un programa de monitoreo.

-Dar continuidad y ampliar el programa de monitoreo de la estructura de la vegetación de manglar, regeneración potencial, productividad de raíces, productividad de hojarasca y vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar del ecosistema de manglar de la PY, Campeche y Veracruz.

Líneas de Monitoreo LTER

Las líneas de monitoreo previstas por la Red Mex-LTER son: clima, características del suelo y agua, flujos de materia y energía, diversidad biológica y abundancia de poblaciones clave, productividad primaria, dinámica del paisaje y usos del suelo (MexLTER 2010).

Para el presente proyecto se consideraron tres líneas de monitoreo: *clima*, *características de suelo/agua* y *productividad primaria*. A continuación se describen los niveles de monitoreo que se abordan en esta etapa de acuerdo a la variable bajo estudio:

Línea de monitoreo LTER sobre clima

Nivel básico: Descripción general del clima y su estructura espacial. Datos de las estaciones climatológicas locales para establecer las normales climatológicas mensuales, de temperatura media y precipitación.

Línea de monitoreo LTER sobre características del sustrato (suelo/agua)

Nivel básico: perfiles topográficos en cada localidad.

Nivel 1: características del suelo como densidad aparente y contenido de materia orgánica y para el agua intersticial se determinará el pH y potencial redox. Además, la relación acreción/subsidencia del suelo de manglar como una medida de su

vulnerabilidad por el incremento del nivel medio del mar. Esta variable se medirá usando la mesa de elevación superficial (SET, “*surface elevation table*”).

Línea de monitoreo LTER sobre productividad primaria

Nivel básico: estructura de la vegetación de cada localidad.

Nivel 1: incremento diamétrico en troncos y producción de hojarasca.

Nivel 2: producción de raíces finas.

Antecedentes

Las tendencias actuales en el estudio de los manglares están dirigidas a las relaciones estructurales y funcionales en diferentes escalas espaciales y temporales, destacando la conectividad con otros sistemas, la biogeoquímica de los sedimentos, su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar, y el potencial de reclutamiento natural e inducido ante impactos antrópicos y eventos naturales (Twilley *et al.*, 1999). Estos estudios responden a la necesidad de plantear mejores estrategias de conservación y manejo frente al calentamiento global y la gran presión ejercida por el desarrollo costero (Rivera-Monroy *et al.*, 2004). Los estudios sobre ecología, conservación, evaluación de indicadores del manejo, restauración y evaluación de impactos causados de manera natural y/o antrópica en los manglares en la Península de Yucatán, estado de Campeche y Veracruz son escasos (López Portillo y Ezcurra, 2002; Zaldívar *et al.*, 2001). Esto es debido a la falta de información de lo que se conoce como “**línea de base**”, que es la información básica crítica de las características estructurales del manglar y de las variables ambientales que la mantienen y le permiten recuperarse ante un impacto natural o antrópicos.

La estabilidad del hábitat de los ecosistemas costeros como las marismas y los manglares depende del mantenimiento de la elevación del suelo relativa al nivel del mar. Muchos de estos sistemas están caracterizados por tener como limitante la sedimentación mineral y/o una rápida subsidencia y son por consiguiente dependientes de la acumulación de materia orgánica para mantener su elevación con respecto al nivel del mar. Sin embargo, existe poca información sobre observaciones específicas del proceso biológico de acreción vertical y cambio de elevación (McKee *et al.*, 2007; McKee 2011).

El sistema de raíces de los manglares está concentrado principalmente en los horizontes someros del suelo (superior a 50 cm) (Komiyama *et al.* 1989). Este sistema

de raíces está constituido por las estructuras especializadas para la aireación, absorción, anclaje y comunicación a larga distancia (raíces de cable) (Tomlinson 1986). El componente de aireación se proyecta por encima del suelo y controla el intercambio de gas del sistema radicular hasta el suelo, por ejemplo, las columnas de las raíces de soporte mecánico o zancos de apoyo de *Rhizophora* y los pneumatóforos de *Avicennia* y *Laguncularia racemosa*. Las raíces por debajo de la tierra incluyen raíces principalmente raíces suaves, no-leñosas con poco o ningún engrosamiento secundario) y menos de 10 mm de diámetro (Gill and Tomlinson 1977, Clough 1992). La parte distal del crecimiento radicular esta siempre libre de ramificaciones (Gill and Tomlinson 1977). Las raíces de anclaje crecen debajo de la tierra en dirección vertical (Chapman 1975), y su función principal es apoyo a la planta. El componente raíces de cable se extiende horizontalmente desde la base del árbol y unifica las partes de aireación, absorción y anclaje. Para *R. mangle* esta función es llevada a cabo por los arcos, los cuales son parte del componente por encima del suelo. El componente de adsorción está compuesto por raíces finas que funcionan en la adsorción de los nutrientes y crecen de espesor directamente a las raíces de soporte (Wada y Takagi 1988).

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 1). 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 Martínez 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 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 convertirse en huracán.

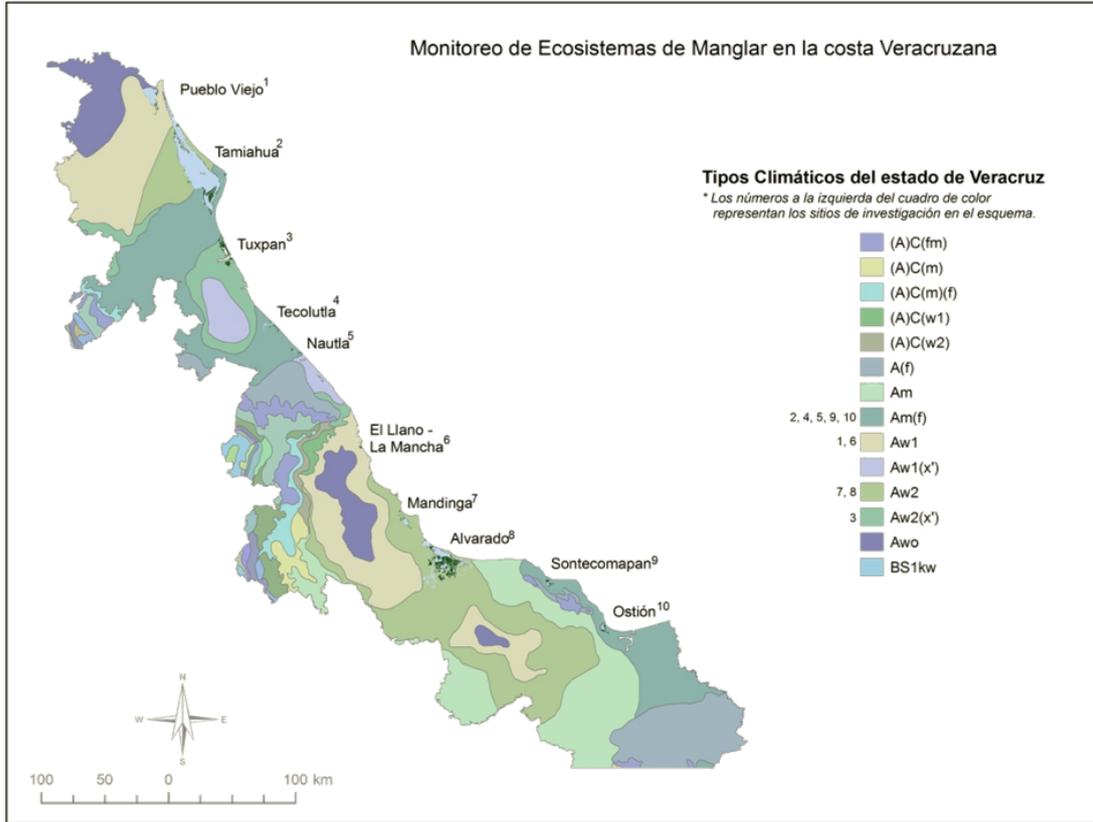


Figura 1. Esquema de los tipos climáticos del entorno costero del estado de Veracruz. Se muestran las 8 localidades de estudio a lo largo de la zona costera.

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 1). 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 1. 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 mas frio mayor de 18°C.	Precipitación del mes mas 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 El Llano – La Mancha</i>
Am(f)	Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes mas frio mayor de 18°C.	Precipitación del mes mas seco menor de 60 mm; lluvias de verano y 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 mas frio 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 frio 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 2 y 3 se muestran los diagramas de Walter Leith 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 corto registrándose en febrero y con máximo de lluvia en septiembre aunque menos intenso que las localidades más al norte.

La Mancha, 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 de año pero con un pulso en septiembre.

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

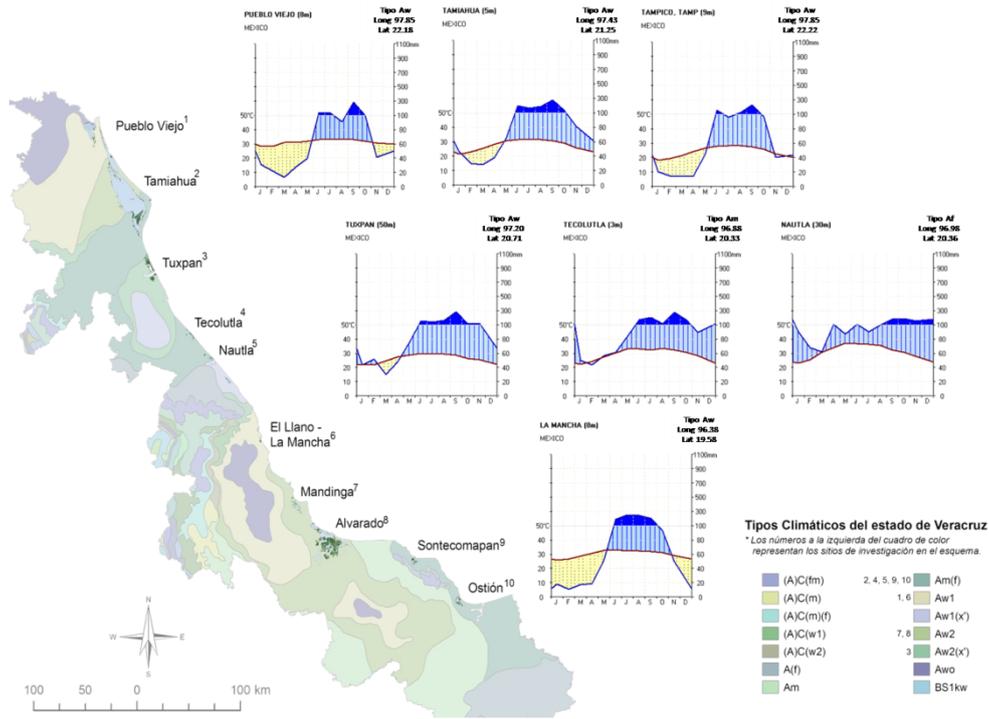


Figura 2. Diagramas de Walter Leith para las localidades del norte del estado (Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampico, Tuxpan, Tecolutla, Nautla y la Mancha)

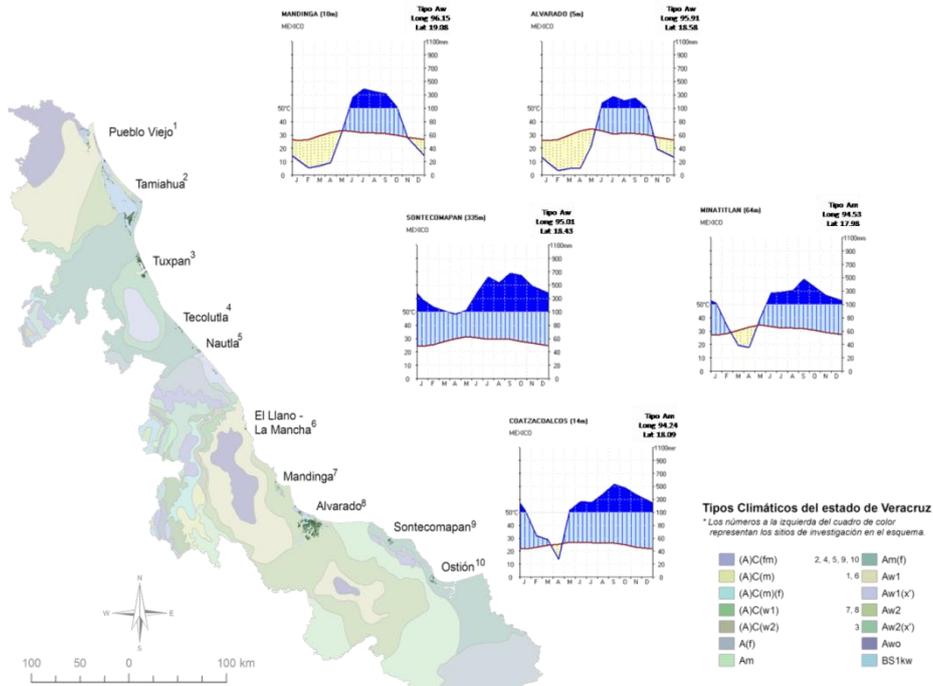


Figura 3. Diagramas de Walter Leith para las localidades del sur del estado (Mandinga, Alvarado, Sontecomapan, Minatitlán y Coatzacoalcos).

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

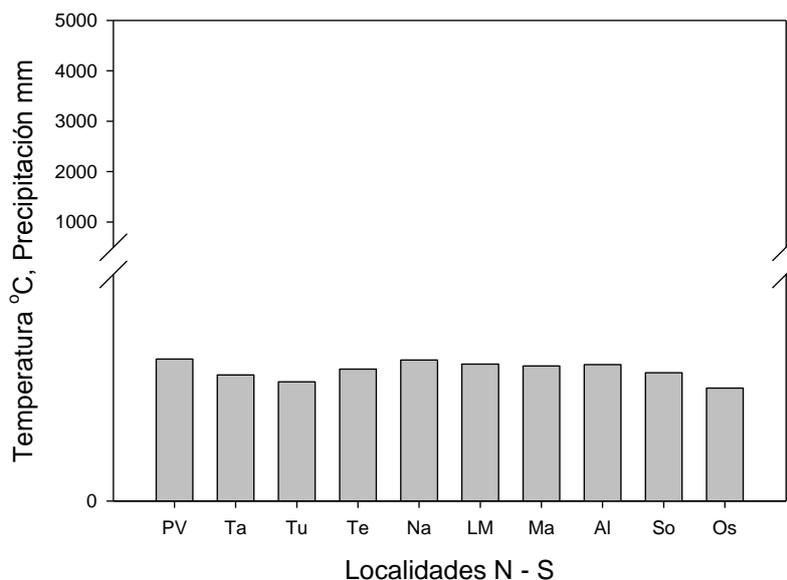


Figura 4. Variación de la temperatura promedio anual y precipitación total anual a lo largo del gradiente latitudinal representado por la ubicación de las localidades en estudio: PV = Pueblo Viejo; Ta = Tamiahua; Tu = Tuxpan; Te = Tecolutla; Na = Nautla; LM = La Mancha; Al = Alvarado; So = Sontecomapan y Os = El Ostión (Fuente: Eric [*electronic resource*]: 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 milímetros reportados en la Figura 3.

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 5, 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.

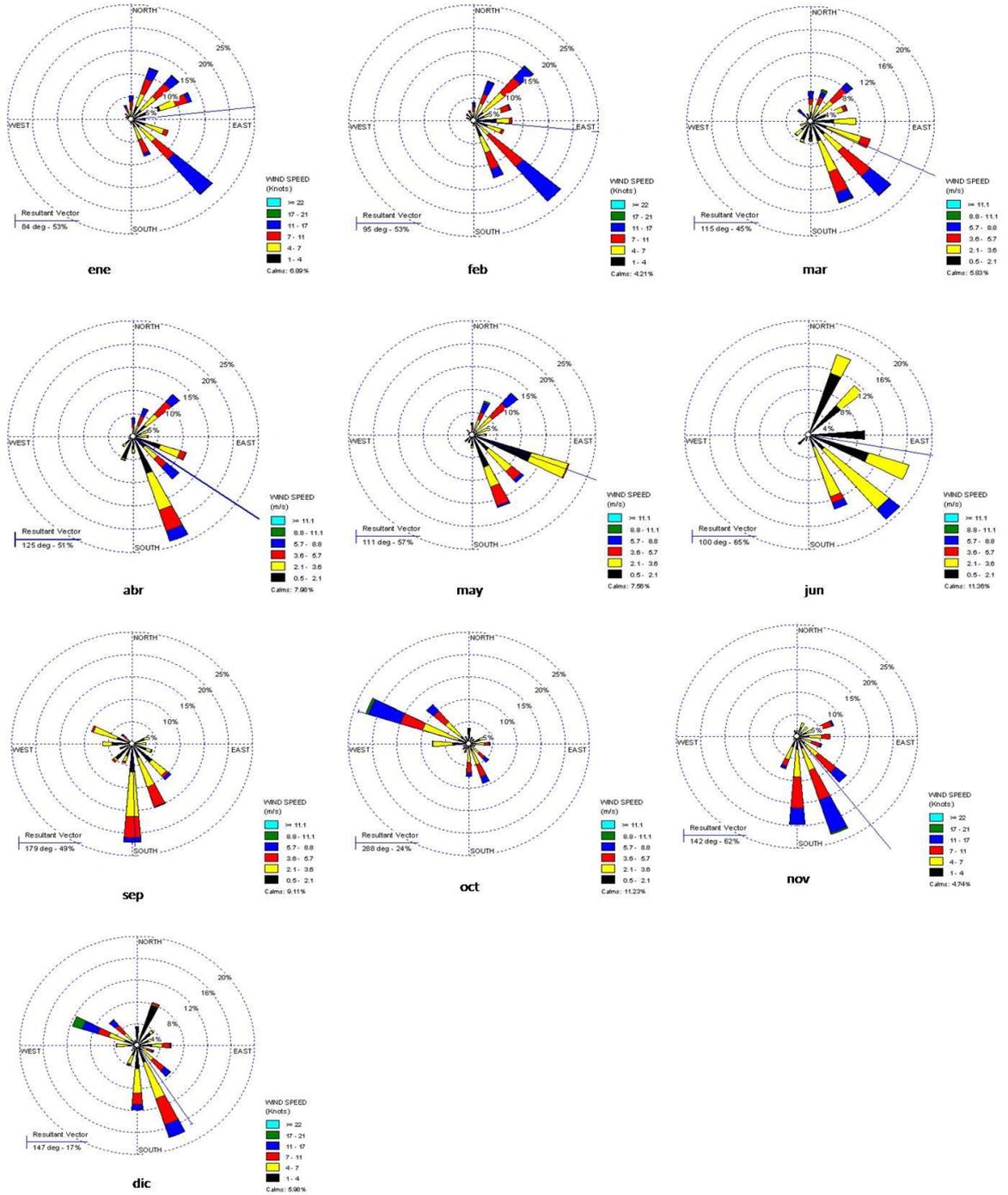


Figura 5. Rosa de los vientos de enero a diciembre de 2009 para la estación meteorológica ubicada en CICOLMA, La Mancha. El tamaño de las barras indica la frecuencia relativa de los vientos y los colores su componente de intensidad en nudos.

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 Espinosa 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 la 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 2 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 2. Fenómenos hidrometeorológicos registrados en los estados mexicanos que bordean el Golfo de México y el Caribe desde 1886 a 2008. (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>).

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

En la figura 6 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.

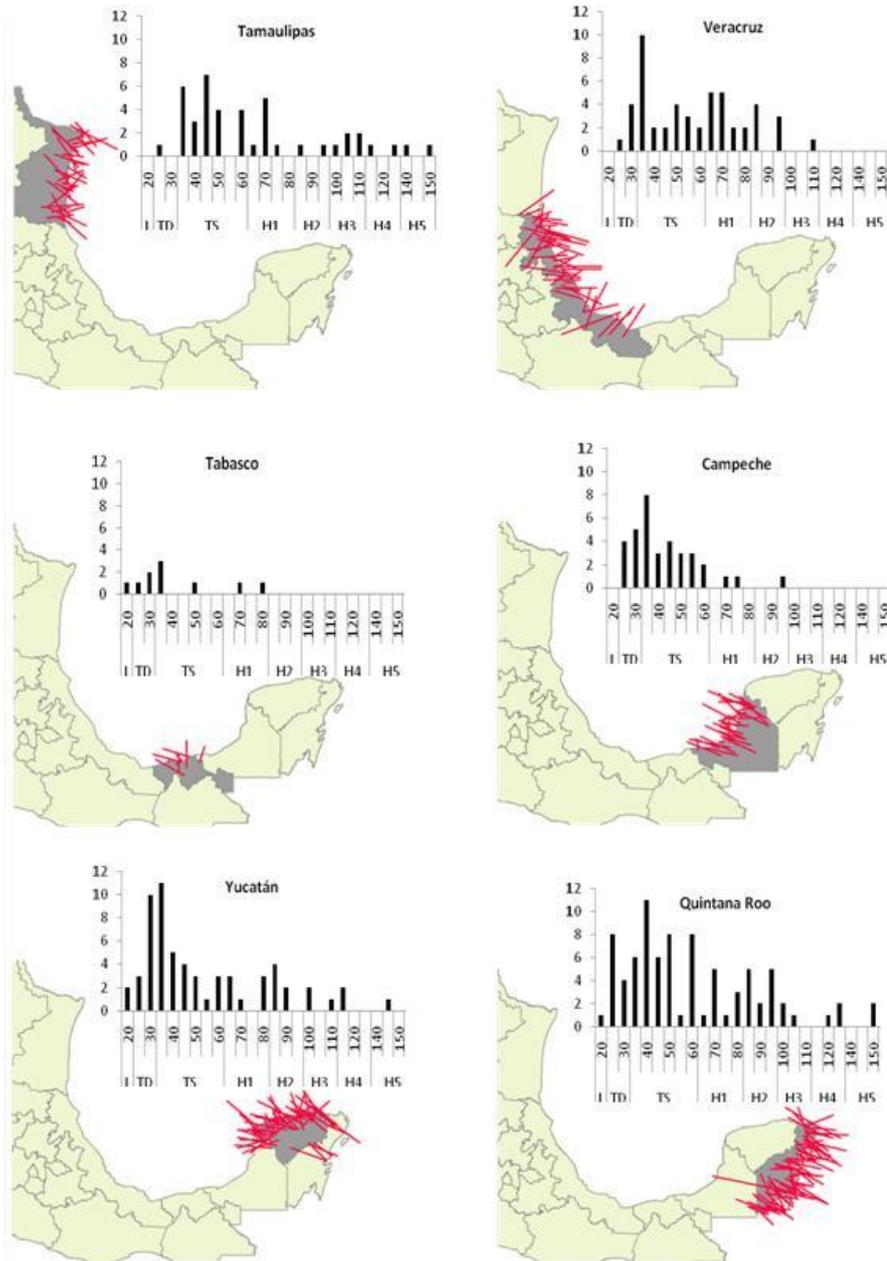


Figura 6. Frecuencia de huracanes que han tocado costas del territorio mexicano. La escala vertical representa el número de huracanes, la escala horizontal describe cada categoría y el rango de velocidad de vientos, en nudos, que la define. L-Zonas de baja presión atmosférica TD-Depresión tropical; TT-Tormenta 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 que en el sur (Figura 7). 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.

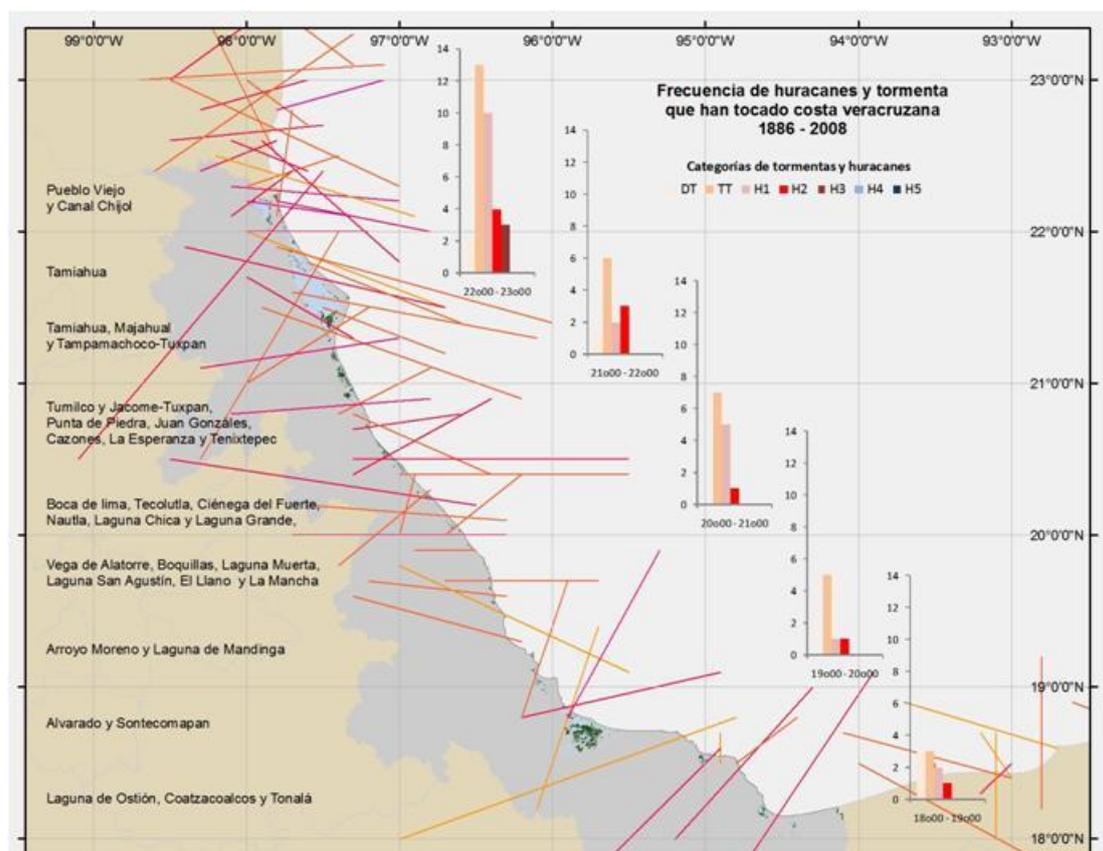


Figura 7. Distribución de eventos meteorológicos en la costa de Veracruz. Las graficas de barras indican la frecuencia de éstos por grado geodésico. La costa veracruzana abarca 4.5 grados de latitud. El quinto grado, más al norte, lo comparte con la costa del estado de Tamaulipas. DT-Depresión tropical; 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 transmexicano 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 macicito montañoso de la Sierra de los Tuxtles 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 Santana *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 Tuxtles, 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.

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 - Pueblo Viejo, el Llano - La Mancha, 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 geográfica del lugar para la definición y delimitación de unidades sintéticas naturales (paisajes físico - geográficos u otras unidades). 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 microrrelieve. Estudios de esta naturaleza, ya han sido probados por especialistas nacionales (López-Portillo y Ezcurra, 1989a, 1989b; Méndez, 2003; Méndez *et al.*, 2007; Flores Verdugo *et al.* 2007) y extranjeros (Thom, 1967; Dawes, 1986) entre los principales exponentes de la teoría geomórfica del desarrollo de estos ecosistemas.

Para la caracterización geomorfológicas 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. 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 8).

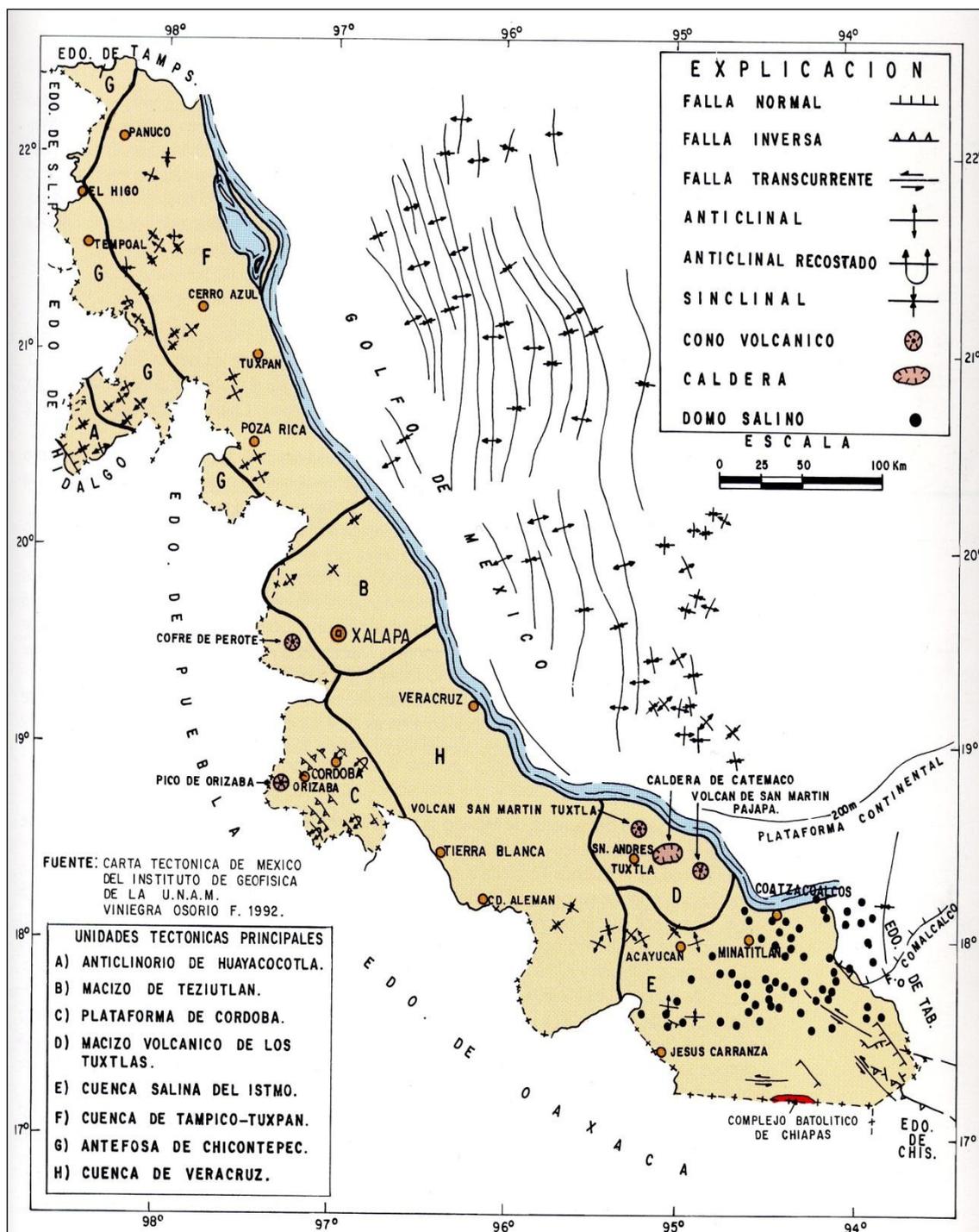


Figura 8. Principales estructuras regionales del Estado de Veracruz (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

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.

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 Santana *et al.* 2008).

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

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 el 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 (antropogénicos)

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 (DCA.DGAE 1990):

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 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 27. 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 RH 27. 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 3000 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 los picos del Cofre de Perote (4282 m) y Pico de Orizaba (5747 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 ~1500 mm en la planicie costera hasta 3000 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 una área de la cuenca de drenaje de aproximadamente de 2270 km², con un flujo del río de 1,086,000 m³ por km² del área de la cuenca, contando con una descarga anual media de 2465 millones de m³. En contraste, el Río Tecolutla es casi 3.5 veces más grande (8080 km²) su cuenca de drenaje mientras que el flujo promedio del río por unidad de área (931,800 m³ por 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 (7529 millones de m³). Durante los periodos de secas, el flujo en la parte baja

del Nautla se reduce a ~ 20 m³/seg, mientras que el bajo Tecolutla es al menos 30 m³/seg.

Cuenca hidrológica del Río Actopan

Se ubica en la Región Hidrológica 28A; 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 brota 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 RH 28A. 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 28, 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 eutroficada en las localidades cercanas a Tuxtepec, Oaxaca, Laguna Verde y Cosamaloapan.

Aunque administrativamente corresponde a la Región Hidrológica 28 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 RH 29. 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.

Área de estudio

El Estado de Veracruz 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.

- Descripción de las localidades de estudio con aspectos generales de geomorfología.

1. Localidad Laguna Pueblo Viejo – 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 a el 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 9).

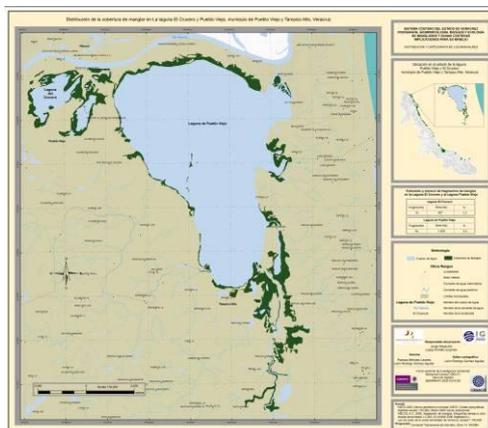


Figura 9. Pueblo Viejo – El Crucero
ver Anexo de mapas

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 10, 11 y 12).

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.



Figura 10 *Avicennia germinans*



Figuras 11 y 12. Laguna de Tamiahua. Ver Anexo de mapas

2. Localidad Estero Tuxpan

El manglar del estero de Tuxpan esta asociado a la corriente de agua que le da su nombre y al cuerpo lagunar Laguna de Tampamachoco (Figura 13). 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.

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.

Estero Ciénaga del Fuerte

Este bosque de manglar se encuentra entre el cauce de corrientes de agua permanente que generan condiciones pantanosas (Figura 15). Es un plano de inundación de origen fluvial pantanoso de acumulación de sedimentos finos y medios, así como materia orgánica generada por la vegetación de manglar.

Se advierte una zonificación de vegetación vinculada a la intrusión de agua de mar a través de las corrientes de agua. En las zonas más continentales del estero, con salinidad baja o nula se desarrolla la Selva Baja Inundable, en zonas donde la salinidad aumenta se desarrollan bosques monoespecíficos de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, y en la unión entre estos dos bosques se observa una mezcla de especies de Selva Baja Inundable con especies de manglar.

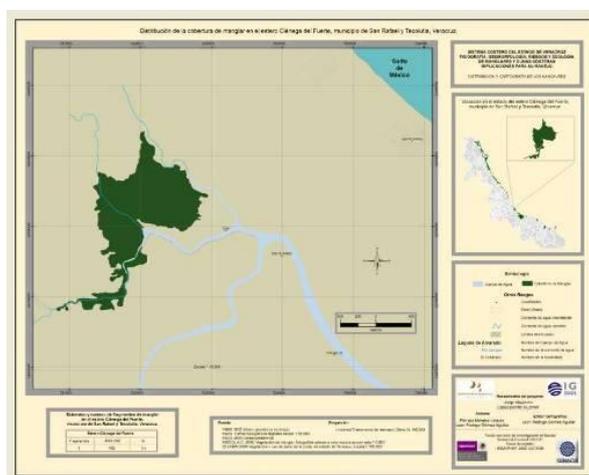


Figura 15. Ciénaga el Fuerte. Ver Anexo de mapas

4. Localidad La Mancha - El Llano

La laguna del Llano se localiza en la porción central de la costa del estado de Veracruz, precisamente en donde finaliza el Eje Neovolcánico (Figura 16). Forman parte del sitio Ramsar La Mancha-El Llano No.1336.

Este bosque de manglar esta asociado a un cuerpo lagunar que posee una conexión temporal con el mar mediante una barra arenosa. Se desarrolla en el plano de inundación de origen 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. Es una laguna con boca efímera y la comunicación con el mar es interrumpida por más de 9 meses a través de la barra arenosa.

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 mas así como diferentes ríos que descargan sus aguas en el Golfo de México como Papaloapan, Acula, Blanco y Limón (Figura 18). 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*.

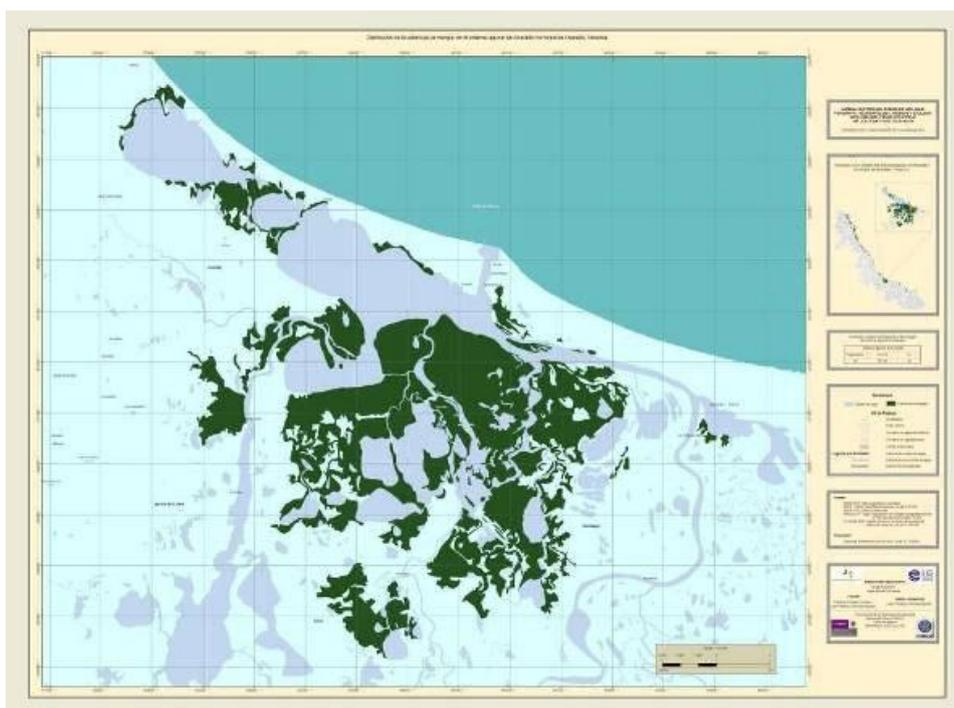


Figura 18. Sistema lagunar de Alvarado. ver Anexo de mapas

Técnicas y Métodos

Componente I. Caracterización biológica y ambiental

Caracterización de la vegetación

La presente metodología fue previamente acordada por los investigadores participantes. Sin embargo, en cada estado se fue adaptando de acuerdo a las condiciones del terreno. En Veracruz, se diseñó un programa de muestreo donde se incluye por localidad dos sitios y por sitio dos parcelas de 0.01 h en cada geoforma (manglar de borde y manglar de planicie lodosa o interno). Para la caracterización de plántulas de manglar, se establecieron 4 parcelas de 1x1m ubicada en cada uno de los vértices de la parcela de 10x10m y para la caracterización de juveniles, se consideraron todos los individuos presentes en la parcela de 10x10m con DAP menor a 2.5 cm y altura mayor a 0.5 m (Figura 23). Para el establecimiento de las parcelas de borde se tomo como criterio su cercanía al cuerpo de agua adyacente y una evidente dominancia de *Rhizophora mangle* sobre las demás especies, mientras que para los sitios internos se consideró mayor la distancia al cuerpo de agua adyacente y una marcada dominancia de la especie *Avicennia germinans*.

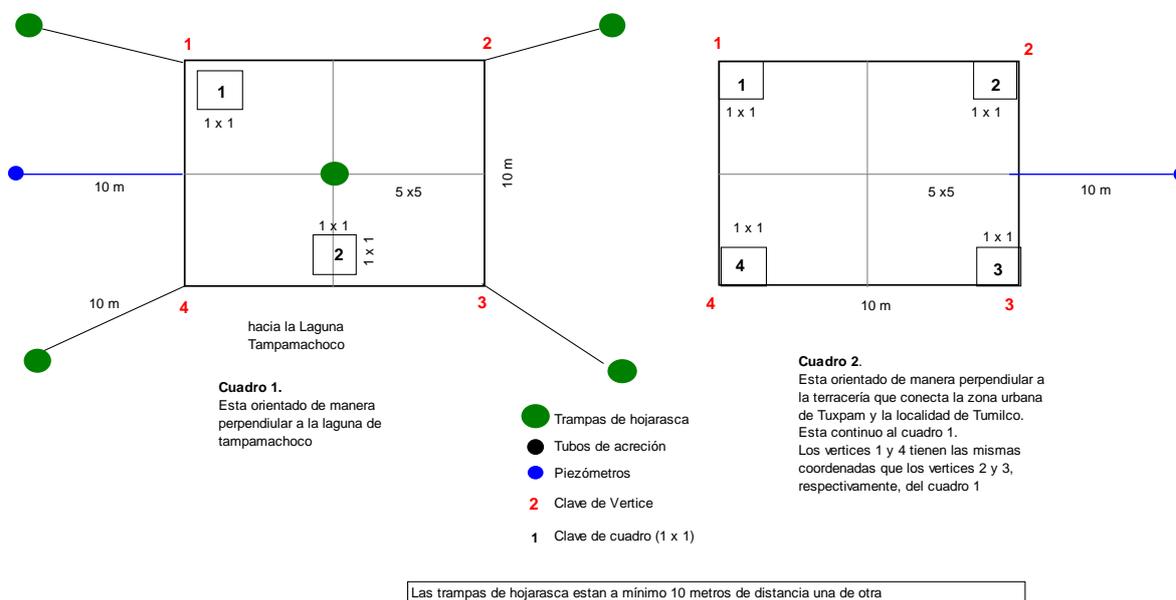


Figura 23. Esquema general de la delimitación de las parcelas para los individuos adultos (10x10m), juveniles (5x5m) y plántulas (1x1m). Se muestra la ubicación de las canastillas de tramas de hojarasca, piezómetros y tubos de acreción en relación con la parcela. La secuencia de los cuadrantes para plántulas es en el sentido de las manecillas del reloj.

La modificación de esta metodología por localidad y sitio de estudio se debió a diferentes causas. En Laguna de Tampamachoco solo se implementaron 1 parcela en

el manglar de borde y 1 parcela en el manglar interno debido a que le número de árboles marcados con placas rebasaban los 30 individuos en cada caso. Este mismo criterio se aplicó en Tamiahua en el sitio En El Llano, la franja de manglar de borde es muy estrecha y no alcanzo a cubrir una parcela. En el caso de Mandinga Chica la franja de manglar de borde está muy alterada por los habitantes que bordean la laguna por lo que solo se pudo implementar una parcela en el manglar de borde de este sitio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Localidades y sitios seleccionados de estudio, coordenadas

Localidad	Sitio	Coordenadas	Manglar de borde	Manglar interno
Tamiahua – Pueblo Viejo	Pueblo Viejo	22°05´30.5"	2	2
	Tamiahua	97°51´39.1"	1	2
Tuxpan	Tumilco	20°00´33.5"	2	2
	Tampamachoco	97°20´31.8"	1	1
Tecolutla	Tecolutla	20°27´38.6"	2	2
	Nautla	96°59´59.9"	2	2
La Mancha El Llano	El Llano	19°39´18.6"	-	2
	La Mancha	96°24´38.7"	2	2
Laguna de Mandinga	Mandinga Grande	19°03´19.9"	2	2
	Mandinga Chica	96°04´53.2"	1	2
Sistema lagunar de Alvarado	Boca de Júpiter	18°44´24.9"	2	2
	Laguna Baja	95°46´59.9"	2	2
Laguna de Sontecomapan	Costa Norte	18°32´10"	2	2
	El Cacahuate	95°01´51.6"	2	2
Laguna del Ostión	Huazuntlan	18°12´01.6"	2	2
	Metzapan	95°38´37.5"	2	2
TOTAL			27	31

Los atributos estructurales de la vegetación son los sugeridos por Cintrón y Schaeffer-Novelli y (1983): 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.

Descripción de variables:

Diámetro a la altura de pecho (DAP): a partir de este parámetro se calcula el área basal, además permite determinar la condición o estabilidad de la comunidad del manglar, por medio de la distribución de frecuencias los diámetros de sus troncos o mejor conocido como un análisis de cohorte. Se utilizó cintas diamétrica para medir el DAP de todos los individuos mayores a 2.5 cm en DAP.

Área basal: es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido; en una comunidad de manglar es la suma de las áreas basales de todos los troncos en una unidad de área expresándose en m² por hectárea (ha) para los árboles mayores o

iguales a 2.5 cm de diámetro (8 cm. de circunferencia). 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.

Densidad: es el número de árboles por unidad de área, se expresa en individuos (ind.) por hectárea (ha). La densidad de una comunidad de manglar es el reflejo de su edad y madurez. Los manglares 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, para lo cual se utilizó un clinómetro y una cinta métrica de 50 m. 1) Se mide la pendiente entre el árbol y el observador con el clinómetro hasta obtener un ángulo menor o igual a 30° y luego se midió la distancia horizontal entre el observador con el clinómetro hasta el árbol que se está midiendo. La altura se calcula con la siguiente fórmula:

$$H = (\text{Tan } \theta * \text{ distancia}) + \text{ la altura del observador con el clinómetro}$$

Índice de complejidad (IC): Es una medida descriptiva-cuantitativa de la complejidad estructural de la vegetación tropical, el cual integra las características estructurales y florísticas, cuantificando el grado de desarrollo de la estructura, y considera: número de especies, densidad total, área basal total y altura (Holdridge *et al.* 1971). Representa el estado de conservación del manglar.

Índice de valor de importancia (IVI): indica el valor de las especies respecto todas las que están presentes en la localidad (frecuencia relativa + densidad relativa + dominancia relativa). Es una medida de cuantificación para asignarle a cada especie su categoría de importancia.

Frecuencia de tallas: Para representar la distribución de diámetros de la comunidad del manglar, se utilizará un histograma de frecuencias, determinándose los intervalos de clase mediante la regla de Sturges (1926 en Ramirez-García, 1998).

Formula de Sturges: $K = 1 + 3.322 (\text{Log } N)$

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

Donde: $R = \text{Rango} = (\text{Valor mayor} - \text{Valor menor})$

$N = \text{Número de individuos}$

Regeneración potencial: Para este apartado, se denominarán como plántulas a aquellos organismos de manglar que presenten una altura menor a 0.5m, y juveniles a aquellas plantas que presenten una altura igual o mayor a 0.5m y un diámetro menor a 2.5 cm. Los atributos que se midieron tanto a plántulas como a juveniles fueron:

Densidad: mediante el conteo de todos los organismos (plántulas y juveniles) presentes dentro de los cuadrantes.

Altura: la cual será medida con una regla de 1m.

Se etiquetaron las plántulas y juveniles con placas de aluminio para darles seguimiento y monitoreo de supervivencia y crecimiento, para tener una estimación del reclutamiento del manglar, y de aquí tener una primera aproximación de la capacidad de recuperación que tiene cada localidad ante eventos como huracanes e impactos antrópicos.

Caracterización ambiental

Microtopografía. La descripción del cambio de relieve a lo largo de un transecto perpendicular al cuerpo de agua hasta la parcela de manglar interno, para lo cual se emplearon mangueras de nivel. Las diferencias en el microrelieve en intervalos de 10 m corresponden a las diferencias entre los valores en cm que se registran al calcular la diferencia de alturas en las escalas lineares de las dos reglas colocadas en los puntos extremos de cada intervalo (Flores Verdugo y Agraz, 2009).

Elevación y subsidencia de sedimentos. En cada sitio de muestreo se colocaron 4 tubos de PVC siguiendo la metodología propuesta por *Gilman et al.* (2007), la cual consiste en determinar los cambios de elevación mediante estacas.

Clima. Los datos meteorológicos se obtuvieron del sistema ERIC III, que es una herramienta para la extracción rápida de información climatológica. La información es la contenida en la base de datos CLICOM, que es el banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA), con la cual se elaboraron climogramas o diagramas de Walter Leith que identifican el tipo de clima de cada localidad y las diferentes condiciones que se observan en la zona de estudio.

Hidroperiodo. Se registro el nivel de inundación del manglar a través de la lectura mensual de los limnigrafos asociados a las parcelas permanentes de vegetación así

como en puntos del espejo de agua. Para el nivel base de la inundación, se considerará el nivel medio de la marea.

Reguladores del suelo. Dentro del sitio de monitoreo se colocaron 4 tubos de PVC, dos a 0.5 m y dos a 1.2 m, de los cuales se obtendrán muestras de agua subsuperficiales (nivel freático). Para la construcción de estos se empleo un nucleador de suelos de 3 pulgadas de diámetro (*Forestry Suppliers, Inc.*, N° cat. 67184) excavando hasta alcanzar el flujo de aguas subsuperficiales (nivel freático). Una vez construido el pozo, se introdujeron los tubos de 3 pulgadas de diámetro, con perforaciones de 0.5 cm en los últimos 0.25 m del extremo enterrado a fin de permitir el paso del agua y evitar el colapso de las paredes de la excavación.

Para el muestreo de agua, previamente a la toma se purgaba el pozo mediante un sifón de agua, con el fin de obtener muestras de agua no alteradas por la exposición al aire. En las muestras mensuales y coincidiendo con la colecta de hojarasca se determinaron directamente salinidad, pH, Potencial Redox con una sonda multiparamétrica marca Myron L Company, Modelo Ultrameter II modelo 6P.

En los sedimentos que componen el suelo del manglar, se realizaron mediciones a nivel de las raíces (\approx 30 cm de profundidad). En superficie se realizaron mediciones de potencial Redox y pH en los sedimentos. Además, se tomaron 250 g de muestra de suelo para determinar su densidad aparente y la materia orgánica en los puntos de las parcelas ubicadas en cada sitio de estudio.

Recursos de los suelos. Con las muestras de sedimentos colectadas en la parcela se realizaron las siguientes determinaciones: los fósforos extractables se determinaron empleando el 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 empleo un multianalizador elemental Marca Leco Co. Modelo Truspec CN. El sistema se basa en el método de combustión de Dumas. La incineración de la muestra ocurre en un horno primario a 950 grado centígrados en un ambiente libre de gases atmosféricos 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 utilizó 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).

Ecología

Para la productividad del bosque se continuará evaluando la biomasa producida por especie en las diferentes partes de los árboles. Se medirá de la caída mensual de hojarasca a través de las trampas instaladas en todas las localidades bajo estudio. El material colectado de las trampas de hojarasca se se secará, 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 cuantificó de la biomasa aportada por las raíces finas a través de bolsas de tela de mosquitero rellenas de sustrato instaladas al inicio del periodo de estudio. La colecta de las bolsas se realizó cuando se caracterizó por segunda vez la estructura del manglar de las diferentes localidades. Las raíces obtenidas en cada bolsa se separaron del sedimento, y se clasificaron y separaron de acuerdo al tamaño: finas (0 a 0.2 cm), secundarias (0.21 a 0.5 cm), cables (0.51 a 2.5 cm) y pneumatóforos se pesaron seco por componente.

La biomasa aportada por los troncos al sistema se evaluó mediante las bandas dendrométricas. Se colocaron las bandas a 10 árboles seleccionados al y se registro las variaciones en el diámetro durante la segunda caracterización de la estructura del manglar. Este dato, además de utilizarse para calcular la productividad, permitirá calcular la tasa de crecimiento de las especies dominantes.

En la figura 24 se resumen las actividades que se realizaron en cada parcela de 10x10 m tanto en manglar interno como de borde.

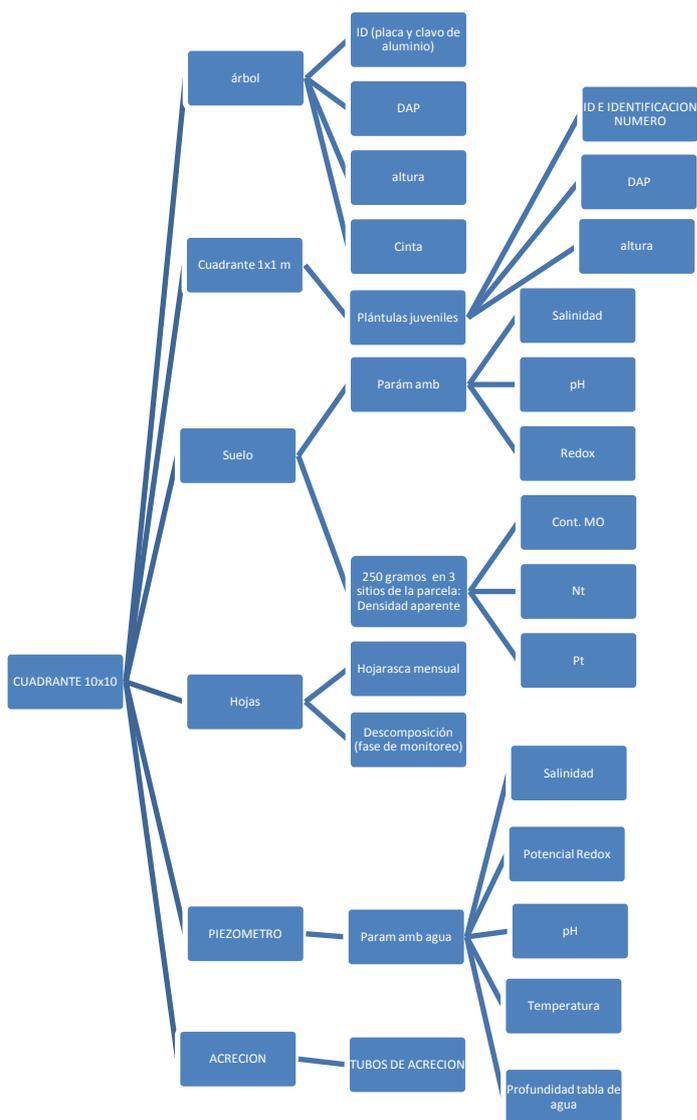


Figura 24. Diagrama de las actividades realizadas en los individuos adultos (10x10m), juveniles (5x5m) y plántulas (1x1m), de acuerdo a la metodología estandarizada para el Proyecto y descrita en el Anexo 1 del Convenio.

Componente II. Monitoreo

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

Los cuatro niveles de monitoreo de la Red Mex-LTER son: Nivel básico, Nivel uno, Nivel dos, Nivel tres, y las líneas de monitoreo previstas por la Red son: Clima, Características del suelo y agua, flujos de materia y energía, diversidad biológica y abundancia de poblaciones clave, productividad primaria, dinámica del paisaje y usos del suelo.

Líneas de monitoreo LTER

Para el presente proyecto se consideraron tres líneas de monitoreo: *clima, características de suelo/agua y productividad primaria*. A continuación se describen los niveles de monitoreo que se abordaron en este estudio:

Línea de monitoreo LTER sobre clima

Nivel básico: Descripción general del clima y su estructura espacial. Datos de las estaciones climatológicas locales para establecer las normales climatológicas mensuales, de temperatura media y precipitación. Esta información meteorológica para 2009 a 2011 fue proporcionada por la Secretaría de Protección Civil en colaboración con el Centro Estatal de Estudios del Clima.

Línea de monitoreo LTER sobre características del sustrato (suelo/agua)

Nivel básico: Se realizaron perfiles topográficos en cada localidad. La topografía es uno de los factores más importante que afectan al hidroperiodo de un humedal y por lo general en el terreno las variaciones inferiores a los 50 cm (microtopografía) son las que determinan el tipo de humedal y su extensión. Para el presente estudio se planteó como metodología a seguir determinar los cambios de elevación del suelo cada 10 m con un teodolito digital que sólo se utilizó en perfil topográfico de Mandinga. Por cuestiones prácticas, los otros perfiles se realizaron con la manguera de nivel que es un método ampliamente empleado en la industria de la construcción. A diferencia del teodolito es económico, fácil de transportar en suelos lodosos y con vegetación densa, no requiere de una base firme ni un entrenamiento técnico complejo (Flores Verdugo y Agraz, 2009).

Nivel 1: Se determinará la densidad aparente y contenido de materia orgánica en perfiles de suelo a cada 10 cm y hasta al menos 0.5m de profundidad. Se determinará el pH y Potencial Redox a 0.3 m, en cada punto de las parcelas.

Como características del suelo se propone monitorear la relación acreción/subsidencia del suelo de manglar como una medida de la vulnerabilidad de estos ecosistemas hacia el incremento del nivel medio del mar.

Para conocer la acreción y reducción del nivel del suelo de los manglares se establecerán estaciones de medición en tres puntos de cada sitio de muestreo. Para ello se considerará la metodología propuesta por *Gilman et al.* (2007), la cual consiste en determinar los cambios de elevación mediante estacas.

Las estacas consisten en tubos de PVC hidráulico de 1.5 a 2 cm de diámetro que se insertarán hasta una profundidad de aproximadamente 1.35 m por debajo de la superficie de las raíces de los manglares o menor si se alcanza un sustrato firme como arena o roca. La porción sobresaliente (15 cm) dependerá de las condiciones del lugar como visibilidad y amenaza de destrucción por los pobladores. Se propone realizar monitoreos espaciados, posiblemente trimestrales, que coincidan con las temporadas de lluvias secas y nortes, o semestrales. En caso de que se presente un evento de ciclón o desbordamiento de un río, deberá realizarse el monitoreo de las estaciones para registrar los cambios ocurridos.

Esta variable se medirá usando la mesa de elevación superficial (SET, “*surface elevation table*”), la cual consiste en un medidor portátil de alturas que se fija en una base sumergida en el suelo (tubo de aluminio de 10 cm de diámetro) hasta la zona profunda de aproximadamente 4-6 m (Boumans y Day, 1994). Cada SET se coloca a unos 40 cm del piso y por medio de varillas (pines) se mide la distancia del suelo a la base. La precisión de las mediciones de los procesos que intervienen en la formación de suelo en humedales es muy importante, sobre todo para determinar la tasa de la elevación vertical del suelo, con la relación del incremento relativo del nivel medio del mar. La técnica del SET cumple con la precisión y exactitud de las mediciones, además de ser un método no destructivo, que es aplicado en zonas inundadas como ciénegas y lagunas someras, manglares y marismas (Cahoon et al. 2003). También se pueden identificar efectos del clima como huracanes, tormentas y procesos que ocurren en escalas de tiempo a mediano y largo plazo. Los SET indirectamente determinan el efecto de procesos superficiales como sedimentación y erosión del suelo, también descomposición de materia orgánica, producción de raíces y contenido de agua, pero no da información de los procesos que ocurren por debajo de la base del SET, como la compactación. Para ello simultáneamente con el SET se utilizará un marcador de los horizontes del suelo como feldespatos (carbonato de calcio). La diferencia entre las mediciones del feldespatos (acreción vertical) y el SET (cambios de elevación) en un tiempo determinado indica el efecto de procesos que ocurren entre la marca de feldespatos y la base del SET a unos 4-6 m de profundidad (Cahoon y Turner, 1989), el valor resultante se conoce como la subsidencia superficial la cual se espera

que esté a la par con las predicciones del incremento del nivel medio para el Golfo de México y el Caribe, si esto no sucede así y el valor es menor, entonces esa localidad de manglar tenderá a inundarse y cambiar. Para la evaluación de este proceso biológico de acreción vertical se empleo el SET (= Tabla elevación del suelo). La acumulación de material orgánica de origen vegetal se evaluará a través los costales con peat moss de la producción de raíces finas que se colocaron en las parcelas fijas de cada sitio, geoforma y localidad.

Línea De Monitoreo LTER sobre Productividad Primaria

Nivel 1: En las parcelas de cada localidad se medirá el incremento en troncos y se colocarán canastas para la medición de producción de hojarasca.

El número de parcelas por localidad será de al menos 4 de 0.01h de superficie. Se determinara la productividad del manglar a través de la caída de hojarasca en intervalos mensuales. El procedimiento consta de la colocación de 5 canastas por parcela elaboradas de material de tela mosquitera de 1 mm de abertura de malla, distribuidas aleatoriamente dentro de la parcela y sujetas a una altura de 1.30 m. El material colectado será secado en una estufa a 75 °C por 72 horas y posteriormente será separado en los diversos componentes: hojas, flores y frutos, estipulas, tallos y material misceláneo, la producción de hojarasca será expresada en $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Nivel 2: Para este nivel se tiene contemplado medir la producción de raíces finas.

La productividad subterránea del manglar se medirá a partir de la producción de biomasa de raíces finas. El procedimiento consiste en la extracción de núcleos de suelo de 40 cm de profundidad por 10 cm de diámetro y el reemplazo del sedimento extraído con “peat moss” comercial que se empaca en núcleos de malla de 35 cm de largo y 10 cm de diámetro, colocados verticalmente a una profundidad máxima de 30 cm (Giraldo, 1995), con lo cual se estimará la producción de las raíces finas a diferentes intervalos de tiempo iniciando en T0 (la muestra inicial obtenida del núcleo original), T1-(12 meses), T2-(24 meses), y se dejaran suficientes núcleos para que el monitoreo contemple al menos 10 años. Los núcleos extraídos serán analizados separando las raíces vivas de muertas y posteriormente se separan por categorías: 1(0-0.2cm) 2(0.21-0.5cm), 3(0.51-2.5cm), y por último se secan a 75 °C por 72 horas. Los resultados se expresan en g de peso seco por metro cuadrado (g m^{-2}) en los primero 30 cm de profundidad.

Resultados

Componente I. Caracterización biológica y ambiental

Caracterización de la vegetación

Área basal total.

Se presentan los resultados de la suma del área basal de cada una de las especies que se encuentren en una hectárea de terreno tanto para 2009 y 2010-2011. Así como también la suma total del área basal para cada geoforma y sitio de estudio. La figura 25 muestra la relación del área basal en 2009 y 2010 para cada una de la especies de manglar y de acuerdo a la geoforma interno y borde. En general en el manglar interno se observa que la pendiente sigue la tendencia de la pendiente igual a uno (sin cambios) mientras que en el manglar de borde las especies *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* presentan tendencia a disminuir y aumentar respectivamente, con respecto a la pendiente igual a uno.

En general, no se presentan diferencias entre la caracterización de la estructura realizada al inicio y final del proyecto. El rango de valores de área basal fluctuaron entre 5.22 a 104.6 m²/ha, ubicándose los valores más altos en los manglares internos asociados a la laguna de Sontecomapan (sitio Cacahuate) y los mas bajos a los manglares de borde del sitio Mandinga Grande. En general y con respecto a la media de los valores obtenidos, se observa una tendencia de registrar los valores bajos en el norte, los intermedios en la parte central y los más altos en el sur (Figura 26).

En las parcelas del manglar **interno**, *Avicennia germinans* registra valores altos fluctuando entre 4.32 a 66.7 m²/ha en 2009 y en 2010 entre 5.0 a 92.5 m²/ha para los sitios de Tecolutla y Cacahuate respectivamente. Esta especie no se registro en las parcelas de manglar interno de la Costa Norte de la Laguna de Sontecomapan. Le sigue *Laguncularia racemosa* con 62.0 m²/ha en 2009 y 65.9 m²/ha para 2010 en el sitio Costa Norte de la misma laguna. Los valores mas bajos de área basal en los manglares internos los presentó *Rhizophora mangle* fluctuando entre 0.07 m²/ha en Tamiahua a 2.1 m²/ha en Alvarado para 2009 y en 2010 osciló entre 0.17 m²/ha en Tamiahua a 2.7 m²/ha en Huazuntlan laguna del Ostión (Figura 26).

En el manglar de **borde**, *Rhizophora mangle* registra en general los valores mas altos con 33.8 m²/ha en 2009 y 30.2 m²/ha en 2011, ambos en el sitio Cacahuate de la laguna de Sontecomapan. Además, esta especie presenta área basal alta en Alvarado en el sitio Boca de Acula con 28.7 m²/ha en 2001 y 27.6 m²/ha en 2010, Tecolutla con

13.8 m²/ha en 2001 y 14.3 m²/ha en 2010, Metzapan en 13.2 m²/ha en 2009 y 17.1 m²/ha en 2010 y Mandinga Grande con 13.1 m²/ha en 2009. Para *Avicennia germinans* los valores altos se registraron en Tamiahua (33.3 m²/ha en 2009 y 32.9 m²/ha en 2010); asimismo, en Laguna La Mancha y en Tampamachoco con valor de 21.2, y 17.9 m²/ha respectivamente. Finalmente en 2009, *Laguncularia racemosa* registró valores altos en Costa Norte de la Laguna de Sontecomapan y Nautla, registrando un valor de 31.7 m²/ha y 27.3 m²/ha respectivamente y Metzapan en Laguna del Ostión con 13.0 m²/ha; mientras que en 2010 en Nautla 57.3 m²/ha y Costa Norte 50.1 m²/ha (Figura 26).

Densidad.

Durante 2009, en los sitios ubicados en el manglar interno o de planicie la densidad de *Avicennia germinans* fluctuó entre 1200 a 7000 individuos/ha, *Rhizophora mangle* entre 400 y 2800 individuos/ha y para *Laguncularia racemosa* entre 400 y 6400 individuos/ha. En la segunda caracterización en 2010 para este tipo de manglar se mantiene la densidad de árboles por especie sin cambio aparente registrándose para *A. germinans* de 1200 a 6000 individuos/ha, *R. mangle* de 400 a 3000 individuos/ha y de *L. racemosa* de 200 a 3800 individuos/ha (Figura 27). Asimismo, en este tipo de manglar también se observa que la mayor densidad de individuos/ha tiende a ser mayor en el centro del estado para el mangle negro y rojo pero para el mangle blanco no presenta este patrón. (Figura 27).

En las parcelas correspondientes al manglar de borde durante 2009 se obtuvieron valores entre 400 a 3600 individuos/ha de *Avicennia germinans*, entre 1200 y 5000 individuos/ha de *Rhizophora mangle* y entre 200 y 2400 individuos/ha de *Laguncularia racemosa*. En 2011 en general se mantiene las estimaciones de densidad fluctuando para *A. germinans* de 200 a 2800 individuos/ha, *R. mangle* de 1000 a 3400 individuos/ha y *L. racemosa* de 200 a 2200 individuos/ha (Figura 27). Tanto para el manglar negro como el manglar rojo se observa una tendencia a presentar mayor individuos/ha en el centro del estado, mientras que para el mangle blanco su mayor abundancia se registra en el sector sur del estado (Figura 27).

Índice de Valor de Importancia.

En 2009 el IVI en el manglar interno o de planicie lodosa *Avicennia germinans* presenta los valores más altos fluctuando entre 44.7 a 300, le sigue *Laguncularia racemosa* registrando valores entre 12.5 y 300 y finalmente *Rhizophora mangle* con valores entre 11.6 y 117.9. Este patrón se mantiene en 2010 con *A. germinans* con

valores más altos con respecto a las otras dos fluctuando entre 81 y 300, *L. racemosa* 12 y 300 y *R. mangle* entre 20 y 90. En el manglar de borde, en 2009 el índice más alto se registró para *Rhizophora mangle* teniendo valores entre 100.8 a 300. Le sigue *Avicennia germinans* con valores entre 18.3 a 182 y al final *Laguncularia racemosa* con valores entre 7.5 a 146.8 y en general se mantiene en 2010 siendo en *R. mangle* entre 93 y 300, *A. germinans* entre 12 y 203 y finalmente *L. racemosa* entre 10 y 195 (Figura 28).

Índice de Complejidad.

En el manglar interno las localidades / sitios con los índices más altos se registran en Sontecomapan (El Cacahuate 94), Ostión (Huazuntlan, 57), Alvarado (Boca de Acula 53), los valores intermedios Tuxpan (Tumilco, 25), Nautla (IC= 20) y el Ostión (Metzapan, 19; Figura 29). Mientras que en 2010, se mantienen valores altos del Índice de complejidad en Sontecomapan (Cacahuate 85.9), Ostión (Huazuntlan 55.4) y Alvarado (Boca de Acula 48.3) y con valores intermedios Nautla (24.2) Tampamachoco (Tumilco 23) y Mandinga Chica (20.2, Figura 29).

Para el manglar de borde, en 2009 los sistemas con mayor complejidad son Laguna del Ostión (Metzapan 28.9), Sontecomapan (Costa Norte 21.6), La Mancha (23.1), y con valores intermedios Tamiahua (Pueblo Viejo 18.6, Isla del Idolo 15.2), Nautla (13.5), y Sontecomapan (Cacahuate 13; Figura 29). Mientras que en 2011 se mantienen valores altos del Índice de Complejidad en Sontecomapan (Costa Norte 26.4), Nautla (26.1), el Ostión (Metzapan 19.8) y con valores intermedios Tamiahua (Pueblo Viejo e Isla del Ídolo con un índice de 14.2 y 12.9 respectivamente) y Sontecomapan (Cacahuate 11.7; Figura 29).

Entre ambas geoformas, existe una tendencia a presentarse los índices de complejidad más altos en los manglares internos que en los manglares de borde y también en las localidades del sur que las del norte.

Altura promedio.

En los manglares internos o de planicies lodosas, en general los árboles de *Avicennia germinans* registraron las alturas promedio más grande en Laguna de Sontecomapan con 17 m; en el sistema lagunar de Alvarado (Laguna Baja 14 m y en Boca de Acula 13 m) y en Mandinga Chica con 13 m; 12 m en Laguna del Ostión (Huazuntlán). Mientras que, tanto para *Rhizophora mangle* la máxima altura promedio fue de 9 m en la Laguna de Sontecomapan (El Cacahuate) y para *Laguncularia racemosa* la altura promedio máxima fue de 21 m en Laguna de Sontecomapan (Costa Norte). En

general, se observa una tendencia a presentarse las alturas promedio más altas en las localidades del sur del estado (Figura 30). Esta distribución de los promedios más altos se sigue presentando en la segunda caracterización de la estructura de las parcelas de manglar.

Para el manglar de borde los árboles con la altura promedio más altas corresponden a *Rhizophora mangle* de 17 m en la Laguna de Sontecomapan (Costa Norte), en el sistema lagunar de Alvarado con 15 y 14 m de promedio en Boca de Acula y Laguna Baja respectivamente. Le siguen los árboles de *Avicennia germinans* con 15 m de altura promedio en el sistema lagunar de Alvarado (Laguna Baja), laguna del Ostión (Huazuntlan 14 m), en Tuxpan (Tumilco) y La Mancha de 12 m promedio y de 10 m en Pueblo Viejo. La especie *Laguncularia racemosa* presentó 21 m de altura promedio en laguna de Sontecomapan (Costa Norte; Figura 30). Estos resultados corresponden a ambas caracterizaciones de la estructura realizadas en 2009 y 2011.

En la figura 31 se relacionan el DAP máximo y la altura máxima para cada una de las especies en 2009 y 2010. En general no se observan cambios entre la primera caracterización en 2009 y la segunda.

Densidad de juveniles.

Este indicador también es un reflejo del potencial del bosque de manglar por regenerarse ante un eventual impacto. Para el manglar de borde, las localidades que presentaron valores bajos de densidad de juveniles son Tuxpan (Tumilco 0 juveniles/m²), Tecolutla (0 juveniles/m²), Sistema lagunar de Alvarado (Laguna Baja 0 juveniles/m²), Laguna de Sontecomapan (Costa Norte 0 juveniles/m²) y Pueblo Viejo (1 juveniles/m²; Figura 32). Mientras que los valores altos se registraron en Laguna del Ostión (Metzapan 308 juveniles/m²), Laguna de La Mancha (136 juveniles/m²) y Laguna de Sontecomapan (El Cacahuete 91 juveniles/m²; Figura 32). En general en esta geoforma se observa un mayor número de juveniles/m² en las localidades del sur del estado.

Mientras que en el manglar interno o de planicie lodosa, las localidades con 0 juveniles/m² son: Tamiahua y Laguna de Sontecomapan (Costa Norte); con 1 juveniles/m² El Llano, La Mancha y Laguna de Sontecomapan (El Cacahuete). Los valores altos se registraron en el sistema lagunar de Alvarado (Boca de Acula 107 juveniles/m²), laguna de Tampamachoco (56 juveniles/m²; Figura 32). En esta geoforma no se observa una tendencia de mayor densidad dependiendo de la ubicación de las localidades. Finalmente, entre ambas geoformas, parece ser que los

manglares de borde presentan un mayor potencial de regeneración registrando en general valores más altos de densidad que en los manglares internos (Figura 32).

Densidad de plántulas.

Este indicador es un reflejo de la potencialidad de cada localidad / sitio de regeneración ante un eventual impacto, por lo cual es notorio que en el manglar de borde en los sitios Tamiahua y Tecolutla en las parcelas no se registraron plántulas en los cuadros de 1X1m. Mientras que las localidades / sitios de mayor densidad de plántulas se registraron en Sontecomapan (El Cacahuete 74 plántulas/m²), La Mancha (68 plántulas/m²), Sontecomapan y el Ostión (Costa Norte y Metzapan respectivamente con 53 plántulas/m²). En general se observa una tendencia de mayor potencial de regeneración en las localidades del sur que las del norte del estado (Figura 32). Mientras que en el manglar de planicie lodosa o interno, la mayor densidad de plántulas se registraron en el sistema lagunar de Alvarado (Laguna Baja 80 plántulas/m²), Laguna del Ostión (Metzapan 47 plántulas/m²) y El Llano (46 plántulas/m²). Mientras que las localidades / sitios con bajo potencial de regeneración son Laguna de Sontecomapan (Costa Norte 0 plántulas/m²), La Mancha (1 plántulas/m²), Mandinga Chica y Tecolutla (2 plántulas/m²). En esta geoforma no se observa una tendencia clara en el potencial de regeneración con respecto a su ubicación en la zona costera del estado (Figura 33).

Caracterización ambiental

Geomorfología regional.

Solo se presentan los resultados del cociente área agua/área bosque. Mientras que la determinación de la salinidad de cuerpo de agua adyacente, amplitud de marea y descarga de agua dulce, se realizarán en esta siguiente etapa del proyecto durante el componente de Monitoreo.

En la figura 34 se observa que el cociente varía de 27.75 en Tuxpan a 0.10 en Tamiahua. Destacan por su proporción similar de área de manglar y cuerpo de agua las localidades Laguna del Ostión (1.02), Laguna de Sontecomapan (1.08), Alvarado (0.89) y la Mancha (2.33). El resto de las localidades / sitios se encuentran por debajo de 1 por lo que es mayor el cuerpo de agua al que están asociados los manglares.

Hidroperiodo

Se instalaron los 4 HOBOS en las áreas de manglar perturbadas que se ubican en la barra de la Laguna de Tampamachoco. Las mediciones se iniciaron en Junio de 2011

cuando se registró la Tormenta Arlene. En la figura 35 se presentan los registros de un mes y se observa que tres de ellos presentan en general un comportamiento similar y solo los registros del HOB0 que se encuentra en el transecto 7 que pertenece a la infraestructura instalada para el Proyecto CONABIO HH025, son diferentes y probablemente influenciados por la presencia del Terraplén.

Hidrología (salinidad, pH, potencial REDOX intersticial)

Se presentan los resultados obtenidos del monitoreo de los parámetros físicos y químicos del agua intersticial de enero del 2009 a octubre del 2011. En las Figuras de 36 a 39 se presentan los valores promedio de salinidad, Potencial REDOX, pH y temperatura por localidad y tipo de manglar con su error estándar.

Salinidad Intersticial

La **salinidad** intersticial máxima fue de 84 ups en el manglar interno de la localidad de Laguna del Ostión y la menor de 0.6 ups en los manglares de borde de la Laguna de Alvarado. En general, en los manglares internos se registran los valores más altos de salinidad y con mayor variación en relación con los manglares de borde. Mientras que los valores de salinidad más bajos se relacionan con los manglares de borde tanto de las localidades del norte como del sur del estado (Figura 36). En general, se observa una tendencia a incrementar los valores de salinidad durante la época de secas (febrero – mayo) descendiendo en la época de lluvias o asociados a los escurrimientos de la cuenca alta (julio – agosto).

De acuerdo a los criterios establecidos en el proyecto, la salinidad intersticial de los manglares internos que están por debajo de las 30 ups indican aportes de agua dulce como es el caso de Tecolutla, Alvarado y Sontecomapan y, mientras que las salinidades por arriba de 40 ups indica intrusión salina o salinización como es el caso de Tamiahua, Tuxpan, y La Mancha. Es importante resaltar que en las localidades del Mandinga y el Ostión presentaron valores intermedios a los anteriormente discutidos. Sin embargo, en 2010 la temporada de huracanes con abundante precipitación provocó a disminuir la salinidad intersticial en los manglares internos de todas las localidades del sur quedando por debajo de las 30 ups (Figura 36).

Mientras que los manglares de borde las localidades con valores de menos de 30 ups se registraron en Tecolutla, Alvarado Sontecomapan y mayores a 40 ups solo Tamiahua y Tuxpan y entre estos valores La Mancha, Mandinga y el Ostión (Figura 36). En el manglar de esta geoforma también se observa una disminución de la salinidad intersticial después de la temporada de huracanes en 2010 (Figura 36).

pH

Los valores de **pH** fluctuaron entre 8.8 registrándose en septiembre en Tecolutla y de 4.3 en Tamiahua, Tuxpan y La Mancha durante febrero de 2009. En general, el pH es muy similar en todas las localidades en el manglar interno fluctuando entre 8.2 a 4.3 y solo en la localidad de Alvarado se presenta un valor de 6.7. Mientras que el manglar de borde, los valores fluctúan entre 8.7 a 4.3. En general, se observa una tendencia a aumentar el pH del norte al sur (Tamiahua a Mandinga; Figura 37), y no se observa una tendencia mensual o bien por geoforma de los sitios de monitoreo (Figura 37).

Potencial REDOX

Se observan amplias fluctuaciones del Potencial REDOX tanto en el manglar interno como en el de borde. Se registra el menor -370 mV en el manglar interno de Pueblo Viejo en julio y ligeramente reducidos de 165 mV en la parcela de manglar interno ubicada en Alvarado registrándose en junio (Figura 38). En general, los valores más reducidos se registran en los manglares de borde y solo en La Mancha se registran valores menos reducidos. En general, se observa una tendencia estacional con los valores más bajos en julio y agosto y menos reducidos de enero a mayo en Pueblo Viejo, Tamiahua, Tumulco y el Llano. Mientras que en los otros sitios no se observa esta tendencia.

Los valores en los manglares internos van desde -306 a 176 mV en. Predominan valores bajos en el agua intersticial a más de 1.2 m de profundidad y sólo en La Mancha (-68.6 mV) y el Ostión (-90.2 mV) se registraron valores menos negativos. Mientras que a 0.5 m registran valores menos negativos Tuxpan (-86.5 mV), La Mancha (-96.9 mV) y Tecolutla (-98.9 mV; Figura 38) y hay valores más reducidos sólo en Tamiahua (-148.4 mV) y Mandiga (-105.3 mV).

Los manglares de borde presentan valores entre -335 mV en Sontecomapan y -306. mV en Alvarado. En general los manglares de borde de todas la localidades presentan valores reducidos tanto a 0.5 m y 1.2 m de profundidad del agua intersticial. Solo Alvarado a ambas profundidades presenta valores menos reducidos (-77.9 mV a 0.5 m y -94.9 mV a 1.2 m). Esto indica que los suelos en el manglar de borde de estas localidades son orgánicos y reducidos.

Temperatura

La temperatura del agua intersticial no presento pronunciadas variaciones con un valor mínimo de 13.2°C y máximo de 31.5°C. En la figura 39 se grafican las temperaturas

intersticiales de los meses cuando se han colectado la hojarasca. En general se observan mayores temperaturas en el sur que en el norte.

Existe poca variación en la temperatura del agua intersticial. Para el manglar de interno a 0.5 de profundidad la temperatura fluctuó entre 23.4°C en Tuxpan a 26.6°C en el Ostión; mientras que 1.2 m de profundidad la temperatura vario de 23.0°C en Tecolutla a 26.6°C en el Ostión. Para el manglar de borde los valores a 0.5 fluctuaron de 22.8°C en Tuxpan a 26.6°C en Mandinga, y a 1.2 m de profundidad variaron de 22.8°C en Tuxpan, a 27.2°C en el Ostión. Parece ser que las localidades del sur presentan valores más altos de temperatura que las localidades del norte tanto en el manglar interno como en el de borde (Figura 39).

La tendencia geográfica de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial para el periodo de 36 meses se muestra en la Figura 40. La salinidad tiende a ser menos salina hacia el sur tanto en el manglar interno como el de borde. En cuanto al pH en general se observa una tendencia a ser menos ácido hacia el sur, mientras que el Potencial REDOX es uniforme a lo largo del gradiente latitudinal del Estado de Veracruz manifestándose valores más negativos en los manglares de borde con respecto al manglar interno (Figura 40).

Recursos del suelo: Biogeoquímica (densidad aparente, contenido de MO, NT, PT)

Densidad

Los valores de densidad fluctuaron entre 2.24 gr/cm³ en el manglar interno del sitio Nautla de la localidad Tecolutla-Nautla y 0.37 gr/cm³ en los manglares de borde del sitio Costa Norte de la localidad Sontecomapan. Los valores intermedios se presentan en Tuxpan, Mandinga y el Ostión y el resto de las localidades registraron valores altos (Figura 41).

Estos valores bajos de densidad en Sontecomapan indican que el suelo de esta localidad es muy poroso y con gran cantidad de materia orgánica como se observa en la gráfica (Figura 41). El resto de las localidades presenta valores muy similares. Un suelo saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación y, probablemente, mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor. Además los suelos arcillosos por sus características fisicoquímicas pueden ser capaces de retener mayores contenidos de sal en su matriz induciendo esto un mayor estrés hídrico a la planta y favoreciendo a especies de mangle adaptadas a esta condición como *A. germinans*.

No hay diferencias aparentes entre los suelos de manglares de borde y los internos, y en ambos casos los valores pequeños de densidad corresponden a los suelos de Sontecomapan. Por otra parte, hay valores altos de densidad en Tamiahua en el manglar de borde y en Tecolutla en el manglar interno.

Materia Orgánica.

Para los manglares internos o de planicies lodosas, en 2009, los valores fluctuaron de 3.9% en el Llano (La Mancha) a 44.3% en Costa Norte 68.6% (Sontecomapan) y en 2010 de 2.0% en Tamiahua (Pueblo Viejo) a 61.1 % nuevamente en Costa Norte de la localidad de Sontecomapan (Figura 42). Para los manglares de borde el porcentaje de materia orgánica en 2009 fluctuó de 6.1% en Tamiahua (Isla del Ídolo) a 46.8% en Sontecomapan (Costa Norte) y en 2010 de 4.8 a 50.8% en las mismas localidades (Figura 42).

En general, los porcentajes de materia orgánica en sedimento son bajos ya que más del 80% de los porcentajes determinados para los manglares internos en ambas caracterizaciones están por debajo del 20%; las localidades que presentan los valores altos del porcentaje de materia orgánica son Sontecomapan y Tampamachoco en los

bosques internos en 2009 y en 2010 además de estas localidades también se registraron en Laguna de Alvarado. Mientras que en los manglares de borde en 2009 el 50% de los sitios analizados el contenido de materia orgánica en sedimentos esta por arriba del 20% y en 2010 el 64%, siendo las localidades de Tampamachoco, Tecolutla, Mandinga, Sontecomapan y Ostión y los sitios de monitoreo ubicados en Alvarado presentan valores intermedios de materia orgánica. Parece ser que en la parcelas estudiadas en el sur el suelo es más fértil que las del norte ya que presentan los porcentajes de materia orgánica por arriba de la mediana (8.2%; Figura 42).

Nitrógeno total.

Es una medida de la fertilidad del suelo y detecta si no hay deficiencias nutricionales de la planta. Los porcentajes altos de nitrógeno total se registraron en la localidad de Sontecomapan en el sitio denominado El Cacahuate tanto en el bosque de interno como de borde con 1.59 % y 1.19 % respectivamente (Figura 41). En general los manglares de las localidades del norte son las que presentan los valores de porcentaje de nitrógeno por debajo del cuartil 75 (0.50%; Figura 41). Es importante destacar que los manglares asociados al a la laguna del Ostión se presentan valores intermedios del porcentaje de nitrógeno (entre 0.47 a 0.51%), así como los manglares de borde de la localidad Tuxpan (entre 0.64% en Tampamachoco y 0.80% para Tumulco), mientras que en el sistema lagunar Alvarado el porcentaje está por debajo de la mediana (entre 0.31 en Boca de Acula y 0.36 en Laguna Baja; Figura 41).

Se observan diferencias en el contenido de N en ambas geofomas, con valores más altos en los manglares de borde que los internos. En los manglares de borde el contenido varía desde 0.2 mg/g en Tamiahua a 1.6 mg/g en Sontecomapan, con un promedio de 0.6 mg/g. En los manglares internos los valores variaron desde a 0.2 en Mandinga vs. 0.7 en Sontecomapan, con un promedio de 0.3 mg/g (Figura 41). Los valores altos del contenido de nitrógeno pueden estar asociados por un lado a los aportes de la cuenca por las escorrentías de los terrenos agropecuarios y por otra parte, a las descargas de aguas residuales público urbanas.

Fósforo total.

Se refiere a todo el fosforo disponible por extracción y en general es el nutriente limitante de las zonas tropicales. Este elemento es básico para la planta ya que se utiliza en la producción de ATPs que es la molécula que almacena la energía del sol. La eficiencia en la utilización de nutrientes, como el **fósforo**, es mayor en sitios donde el contenido es bajo mientras que donde existe una alta disponibilidad, puede haber

una significativa exportación al medio debido a la baja translocación desde las hojas senescentes al resto de la planta.

El contenido de Fósforo total en los sedimentos del manglar interno en las localidades fluctúa en 2009 de 0.072 mg/Kg en Tecolutla a 0.957 mg/Kg y en 2010 de 0.021 mg/Kg en Sontecomapan a 0.946 mg/Kg en Nautla. Mientras que en el manglar de borde en 2009 de 0.042 mg/Kg en Sontecomapan a 0.651 mg/Kg en Tampamachoco; en la segunda caracterización en 2010-2011 la concentración de Fósforo total en sedimentos fluctuó de 0.004 mg/Kg a 0.534 mg/Kg en las mismas localidades .

En general los valores altos de fósforo total se registraron en las localidades del norte (Pueblo Viejo – Tamiahua, Tecolutla – Nautla, La Mancha – El Llano; figura 42). Los valores intermedios se registraron de manera similar tanto en el norte como en el sur del Estado (Laguna del Ostión, Tuxpan, Alvarado y Sontecomapan).

Relación N/P

Esta proporción varió de 6.6 en el manglar interno de Nautla a 34.3 en el manglar de borde de Tumulco. En general, en manglar interno los valores de la relación N/P son más bajos que en el manglar de borde. En el manglar de borde los valores fluctúan entre 10.5 y 34.3 con un promedio de 18.7. En el manglar interno los valores fluctuaron entre 6.6 y 28, con un promedio de 14.3 (Figura 41).

Los valores de la relación N/P por encima de 16 indican una deficiencia de fósforo, por lo que este nutriente puede ser limitante en la productividad de los manglares o en los que las aportaciones del nutriente desde fuentes alóctonas son insuficientes. Estos valores se registraron principalmente en los manglares internos del sur en las localidades de Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y Ostión. Mientras que en el norte están por debajo de 16 del cociente N/P, esto indican una deficiencia en nitrógeno o quizá un alto aporte de fósforo a los sedimentos por el aporte de la cuenca como son Tamiahua, Tuxpan, Tecolutla y La Mancha. En cuanto a las estimaciones para los manglares de borde solo Tuxpan, Tecolutla, Mandinga, Sontecomapan y el ostión el cociente N/P adquiere valores mayores a 16 y el resto de las localidades por debajo (Figura 41).

Para el norte en ambas geofomas hay valores relativamente bajos de nutrientes y materia orgánica pero valores altos de densidad, mientras que en las localidades del sur sucede lo contrario: altos de nutrientes y materia orgánica y bajos de densidad. Así como también se observa en los manglares de borde hay mayores concentraciones de N y materia orgánica y menor densidad, esto es más porosidad en

el sustrato. Mientras que el manglar interno en las localidades estudiadas presento valores altos de fósforo y alta densidad o baja porosidad en los sedimentos.

Componente II. Monitoreo

Línea de monitoreo LTER sobre clima

LTER Estaciones meteorológicas locales

Con el propósito de actualizar los parámetros de precipitación, temperatura mínima y máxima para el ciclo 2009-2011, se solicito esta información al centro de Estudio sobre el Clima de la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz. Para seleccionar las estaciones meteorológicas se considero la altura al nivel del mar, así como aquellas que se ubicaran en la llanura costera, y próximas a las localidades de estudio. En el cuadro 4, se muestran las localidades las coordenadas geográficas, el nombre de la Estación Meteorológica y su relación con respecto al nivel del mar (MSNM = metros sobre el nivel del mar).

Cuadro 4. Localidad de estudio y sus coordenadas geográficas y la estación Meteorológica a la que corresponde por su cercanía al área de estudio su altura en metros al nivel del mar (MSNM)

Localidad	Longitud	Latitud	Estación Met.	MSNM
Pueblo Viejo - Tamiahua	-97.86086	22.09181	Pánuco	60
Tuxpan	-97.32461	20.91528	Tuxpam	30
Tecolutla - Nautla	-96.89997	20.32739	El Raudal	10
El Llano – La Mancha	-96.38778	19.56514	Cardel	28
Mandinga	-96.08081	19.05286	Paso del Toro	10
Alvarado	-95.78388	18.75861	Radar Alvarado	10
Sontecomapan	-95.02972	18.53553	Sihuapan	260
Ostión	-94.63819	18.17889	Coatzacoalcos	50

Precipitación

Los valores fluctúan desde meses sin lluvia hasta 1340.3 mm al mes, registrándose al menos un mes sin lluvia en Tamiahua, Tuxpan, La Mancha Mandinga y Alvarado y la máxima precipitación en la localidad del Ostión en septiembre del 2010 (Figura 43). En general se observa una tendencia a que las localidades del sur registran mayor

precipitación al año (Alvarado, Sontecomapan y el Ostión) sin embargo en el norte Tecolutla también registra una alta precipitación. Tamiahua y La Mancha son las localidades donde se registra la menor precipitación.

Temperatura ambiente

Se registraron valores entre 11.8°C a 37.2 °C. Las temperaturas máximas a lo largo del estado fluctuaron de 20.9 °C a 37.2°C mientras que las mínimas fluctuaron de 11.8°C a 25.2°C. En general mas temperaturas máximas se registras de abril a julio, mientras que las mínimas de diciembre a febrero (Figura 44). Mandinga y Alvarado son las localidades donde las variaciones entre la máxima y mínima temperatura hay 15°C de diferencia durante los tres años considerados, Tecolutla y el Ostión registraron una diferencia de 18°C, Tuxpan y La Mancha 22°C y Tamiahua y el Sontecomapan con la mayor diferencia de 24°C.

Fenómenos hidrometeorológicos

Es importante destacar que de los tres años que se realizo este estudio, 2010 presentó la mayor precipitación en todo el estado asociada a la presencia de 5 fenómenos hidrometeorológicos: Huracán Alex Junio 25 a Julio 2; Tormenta Tropical Hermine septiembre 5 al 9; Huracán Karl septiembre 14 al 18; Huracán Matthew septiembre 23 a 26; y Huracán Richard octubre del 20 al 25. Mientras que 2011 se registraron 3 fenómenos: Tormenta Tropical Arlene de junio 28 al primero de julio; Huracán Nate del 7 al 11 de septiembre y Tormenta Tropical Harvey Agosto 19 al 22 (Figuras 45 y 46)

Marco Climatológico

Es importante destacar que de los 36 meses (2009 – 2011) durante los que se desarrollo el presente estudio, la temporada de lluvias en 2010 presento valores mas altos con respecto a los otros dos años (Figura 43). De acuerdo a los Informes Climatológicos Mensuales del Estado de Veracruz elaborados por Centro Estatal de Estudios del Clima, en la cuenca del Tecolutla en Junio 2010 se registraron mediciones la precipitación de 20 mm por encima de la media calculada para el intervalo 1977-2009. Esto se debió a la presencia del primer huracán (Alex, 25 junio – 2 julio) de la temporada 2010 en el Atlántico, el cual se impactó en el Municipio de Soto la Marina Tamaulipas como categoría 2 afectando principalmente el norte del estado de Veracruz (Figura 45). Sin embargo, el Centro Estatal de Estudios del Clima concluye que Junio fue un mes seco y cálido en la mayor parte del estado.

En julio 2010 se presentó más lluvia con respecto a la media, principalmente en la región norte donde se registraron valores de hasta 400 mm en la cuenca de Tuxpan y Pánuco sobre los valores promedio. En Tuxpan se registró 218.4 mm de precipitación acumulada máxima en 24 horas el 24 de julio. En la Cuenca del Papaloapan y la región de la Mancha se registraron anomalías positivas para la temperatura mínima con 3 y 4°C respectivamente. El Informe Climatológico emitido por Protección Civil concluye que Julio del 2010 fue un mes húmedo y frío en la mayor parte del estado.

Al igual que el mes anterior, agosto presentó más lluvia con respecto a la media principalmente en la zona sur, donde se registraron valores de hasta 710 mm en la región del Papaloapan sobre los valores promedio. La precipitación acumulada máxima en 24 horas se registró en el Radar de Alvarado con un valor de 265.5 mm el 24 de agosto. El Informe Climatológico de agosto del 2010 establece que fue un mes húmedo y frío en la mayor parte del estado.

Septiembre 2010 también presentó mucha mayor precipitación con respecto a la media, anomalías positivas para la mayor parte del estado, en especial para la región sur, donde se registraron valores de hasta 900 mm sobre los valores medios de precipitación acumulada. La precipitación acumulada máxima en 24 horas se registró el 28 de septiembre en la estación Coatzacoalcos con un valor de 411.9 mm. La temperatura en la región del Papaloapan y Tamiahua se midió valores de -3°C debajo de la media. El Informe Climatológico emitido por Protección Civil del estado de Veracruz concluye que Septiembre del 2010 fue un mes húmedo y frío en la mayor parte del Estado. La zona costera es impactada por diferentes meteoros como el huracán Karl (14 - 18 de septiembre del 2010), y dos tormentas tropicales Hermine (5-9 septiembre) y Matthew (23-26 septiembre; <http://www.nhc.noaa.gov/2010atlan.shtml>, consultado el 31 de agosto del 2011, Figura 45)

Octubre 2010 presentó menor precipitación con respecto a la media, se registraron anomalías negativas para todo el estado, particularmente para la región sureste donde se presentaron valores de hasta 350 mm por debajo de los valores medios de precipitación acumulada. La media de la temperatura máxima mostró valores por debajo de la media climática en la cuenca baja del Papaloapan donde se registraron valores hasta -3°C, así mismo para la temperatura mínima en esta misma región se registró una anomalía positiva con 3°C y anomalías negativas en el norte en la región del Pánuco con valores de hasta -2°C por debajo de la media. Protección Civil concluye que Octubre del 2010 fue un mes seco y frío en la mayor parte del estado.

Noviembre 2010 presentó menor precipitación con respecto a la media, se registraron anomalías negativas para el sureste del estado, en la región de los Tuxtlas y Catemaco donde se presentaron valores de hasta 300 mm y en la zona de Coatzacoalcos de 210 mm por debajo de los valores medios de precipitación acumulada. Para la temperatura mínima se observaron anomalías positivas en la región de Boca del Río y Alvarado con 3°C. Noviembre del 2010 fue un mes seco y frío en la mayor parte del estado.

Diciembre 2010, en general, presento menor precipitación con respecto a la media en todo el estado. Este mes fue seco y frio en la mayor parte del estado.

Línea de monitoreo LTER sobre características del substrato (suelo/agua)

Microtopografía

Nivel básico: Se harán perfiles topográficos en cada localidad.

Se presentan los perfiles topográficos de los sitios donde se ubican las parcelas en estudio del manglar de borde como interno (Figuras 47 a 54). Para Tamiahua se observa una depresión por debajo del nivel del agua por lo que es susceptible de inundación periódica y por tanto de mantener en buenas condiciones los manglares internos o de cuenca en esta localidad (Figura 47).

En la figura 48 se presentan los relieves topográficos del sitio Tumilco en la localidad Tuxpan, en ambos se observa una depresión que se mantiene por debajo del cero. No obstante, el relieve se sube más en el manglar interno que en el de borde probablemente porque el de borde se encuentra a una mayor altitud que el interno. Ambos perfiles siguen el mismo patrón puesto que se conectan con el camino que conduce de Tuxpan a Tumilco, estando el interno más alejado de este camino que el de borde.

En la figura 49 se muestra el relieve topográfico del manglar interno de la localidad Nautla-Tecolutla. En Tecolutla se observa una relieve por arriba del cero en una distancia de aproximadamente 40 m de longitud, mientras que en Nautla se observa una tendencia a estar por debajo del nivel cero en una distancia muy pequeña entre el lugar donde se ubicaron las parcelas fijas y el canal de llegada.

En la figura 50 se presenta el perfil topográfico del manglar interno del sitio El Llano, se observa que hay una distancia de más de 150 m de longitud desde el lugar donde se implementaron las parcelas de manglar interno y el borde adyacente a la laguna El Llano. Además se observa una depresión de 10 cm por debajo del cero. Este patrón es similar al que se muestra en el perfil topográfico del sitio de Mandinga (Figura 51).

En la figura 52 se presentan los relieves topográficos de los dos sitios establecidos en la localidad de Alvarado tanto para el manglar interno como de borde. Para el manglar interno de Boca Júpiter se observan diferentes depresiones del terreno a lo largo del transecto, mientras que en el de borde es poco accidentado el terreno.

Mientras que el manglar en el sitio de Laguna Baja Localidad de Alvarado, se muestra también con diferentes depresiones del terreno pero cercanas al borde con la laguna. En el manglar de borde en este sitio es diferente al de Boca de Júpiter porque aquí se observan depresiones por debajo del cero, cerca del borde a la laguna (Figura 52).

En la Localidad de Laguna de Sontecomapan, la microtopografía del manglar interno es muy similar tanto en el sitio El Cacahuate como en el sitio Costa Norte, presentándose como una depresión del terreno hasta llegar al borde donde se incrementa el relieve (Figura 53). Mientras que en el manglar de borde la microtopografía es muy accidentada presentando relieves por debajo del cero por más de 30 cm.

En cuanto a los manglares asociados a la Laguna del Ostión, los transectos inician donde se ubican las parcelas que corresponden al manglar interno hasta donde están las parcelas en el manglar de borde. En general siguen el mismo patrón, donde está el manglar interno es una depresión por debajo del cero para incrementar el relieve al ubicarnos en el manglar de borde (Figura 54).

Sedimento: densidad aparente, materia orgánica, pH, Potencial Redox, SET mensual

Los resultados de este Nivel 1 relacionados a la densidad y contenido de materia orgánica en los sedimentos se presentaron en la sección de los recursos del suelo Figuras 41 y 42.

Variaciones mensuales en el agua intersticial

Parámetros fisicoquímicos del agua intersticial.

Los resultados de estos parámetros ya fueron descritos en la sección Hidrología (salinidad, pH, potencial redox intersticial; Figuras 36 a 40). Además de que corresponden tanto al nivel básico como el nivel 1 de la línea de monitoreo sobre las características del sustrato de acuerdo a los lineamientos del Mex-LTER. En este Informe Final se presentan la base de datos y las figuras que muestran los resultados de los parámetros medidos del agua intersticial desde enero 2009 a octubre 2011

continuando con el incrementado de la base de datos. El resumen se encuentra en el archivo en Excel: Original_base_de_datos_Informe_Final_FN007_08.

Salinidad

Tanto para los manglares internos como de borde de las localidades del norte, se observa un incremento de salinidad entre marzo y mayo (época de secas), y un descenso de junio a septiembre (época de lluvias), cuando se registran las más bajas salinidades. Hay un incrementándose posterior, de noviembre a diciembre. Es importante notar que en Tecolutla hay poca variación de los valores de salinidad en todo el periodo analizado. Asimismo se observa que en general no hay diferencias entre los valores registrados en los piezómetros a 50 cm de profundidad de los que están a 120 cm y únicamente en el manglar de borde de Alvarado se muestra diferencias siendo el agua intersticial más salada a 120 cm que a 50 (Figura 36).

En junio del 2010, el huracán Alex a través de su recorrido hacia el norte descargaba grandes cantidades de lluvia sobre los estados de Noreste del país. Esto se refleja en los valores mínimos de salinidad en los manglares tanto de borde como interno. Por ejemplo en Pueblo Viejo en agosto y septiembre del 2010 se registraron salinidades de 0.5 y 2.2 ups respectivamente (Figura 36). Este descenso en los valores de salinidad en el manglar de borde pero no tan pronunciado se observa en Tamiahua, Tumilco, El Llano, y tanto en el manglar de borde como interno en la Mancha y en todas las localidades del Sur.

Los valores máximos de salinidad de menos de 40 ups tanto en el manglar de borde como en el interno se registraron en Tecolutla, Mandinga Chica, Alvarado (Laguna Baja y Boca de Acula), Cacahuate y Huazuntlán (Figura 36). Se registró salinidades de más de 40 y menos de 60 ups como valor máximo en Pueblo Viejo, Tamiahua, Tumilco, Tampamachoco, Nautla, Mandinga Grande y Metzapan. Mientras que valores máximos de salinidad mayores a 60 ups se registraron en El Llano, La mancha y Costa Norte en Sontecomapan.

pH

En general, en Tamiahua, Tuxpan y Sontecomapan se observa una tendencia a registrarse valores bajos en marzo y mayo y a partir del siguiente mes se incrementan los valores hasta alcanzar un pulso de octubre a diciembre. Este comportamiento se presenta en ambos tipos de manglar (Figura 37). En Tecolutla presenta una tendencia similar, pero con dos pulso uno en agosto y otro noviembre del 2009 a febrero del 2010.

En El Llano – La Mancha, tanto en el manglar interno como de borde, se observaron 3 pulsos de incremento del pH alcanzando valores similares, en febrero, en agosto y de noviembre del 2009 a febrero del 2010. En los sitios del Ostión se observan valores muy similares en los meses muestreados. Solo los sitios de la localidad de Alvarado tanto en el manglar interno como en de borde se observa un decremento del pH registrando los valores más bajos en febrero del 2010 (Figura 37). Sólo en Alvarado hay valores más ácidos, particularmente en el manglar de borde.

En general, las localidades del sur presentan valores de pH menor que las localidades del norte (Figura 37). Con respecto a la variación temporal se presentan valores bajos de pH (entre 5.6 y 6) en los meses de secas aumentando hasta alcanzar valores altos (entre 7 y 7.6). Este patrón está generalizado para todas las localidades. En cuanto a las diferencias por geoformas, los valores de pH son más neutros en el manglar interno y más ácidos en el de borde siendo evidente para La Mancha – El Llano, Mandinga y el Ostión. En el resto de las localidades, los valores de pH son similares entre geoformas (Figura 37).

Potencial REDOX

Se registran amplias fluctuaciones tanto en el manglar interno como en el de borde. En las localidades del norte del estado el valor del potencial REDOX es más negativo a partir de marzo, indicando anoxia o reducción. Alcanza el mínimo en junio y en agosto empieza a incrementar, alcanzando valores menos negativos (un ambiente menos reducido) en diciembre (Figura 38). En algunas localidades como Tuxpan (ambos tipos de manglar) y El Llano - La Mancha (manglar interno) se registraron valores positivos.

En las localidades de la parte sur los valores son similares y negativos, indicando ambientes reducidos. Sólo destaca Alvarado con valores cercanos a cero (menos negativos) principalmente en el manglar interno, con valores entre -71.7 a -0.6 mV (Figura 38).

Temporalmente, en las localidades del litoral norte de Veracruz se observa un patrón general con los valores más negativos entre mayo y octubre en lluvias para hacerse menos negativos, hasta valores positivos como se registra en Tuxpan, de diciembre a abril en época de nortes y secas (Figura 38). En Tamiahua-Pueblo Viejo, se observa un patrón general con los valores más negativos en diciembre (-388 mV) y octubre (-263,5 mV) respectivamente (Figura 38), hasta valores positivos como se registra en Tampamachoco y La Mancha ende agosto 2010 (124 mV, 187 mV

respectivamente) con tendencia a descender en diciembre (-137 mV) y octubre (-189 mV) respectivamente que corresponde a la época de nortes.

Mientras es las localidades del sur del litoral este patrón se observa en Mandinga y el Ostión, tanto en Alvarado como en Sontecomapan los valores del potencial Redox son similares a lo largo del año (Cacahuatate 166 mV a -40 mV en octubre y diciembre 2010, figura 38).

Temperatura

En general el comportamiento de esta variable es estacional relacionado con la temperatura del aire. Se incrementa de marzo hasta alcanzar la máxima temperatura en agosto y de ahí desciende hasta diciembre cuando se registran los valores más bajos (Figura 39). Esta tendencia se observa tanto en el manglar interno como en el de borde y en general para todas las localidades a lo largo del gradiente latitudinal.

Es importante resaltar que este parámetro en comparación de los otros medidos en el agua intersticial de los sistemas de manglar, los errores estándar presentan valores grandes principalmente en la parte norte, indicando gran variabilidad de las mediciones. Esto podría deberse a que las mediciones en el sur se hacen *in situ* mientras que las del norte se toma una muestra que es analizada en el laboratorio, indicando que este parámetro es más afectado por el transporte a Xalapa que los otros.

Relación acreción/subsidencia del suelo

Desde la implementación de las parcelas fijas en cada sitio de cada localidad se colocaron 4 tubos de acreción como una medida de la vulnerabilidad de los ecosistemas de manglar ante el incremento del nivel medio del mar. En la figura 55 se presentan los resultados a un año a año y medio de su instalación en todas las localidades. Generalmente las mediciones se realizaron mensualmente cuando se colectaba la hojarasca. En general se observa incremento en los manglares internos de las localidades de Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y Ostión. Este patrón también se observa para los manglares de borde. Es importante notar en la figura 55 la localidad Tecolutla-Nautla puesto que los manglares en el interior presentan erosión los de borde acumulación. Finalmente los que no presentan cambio, se considera que es un balance a lo largo del periodo de evaluación.

Similarmente, los registros del SET (Surface Elevation Table) en La Mancha están también relacionados al cambio en la elevación de los sedimentos en los manglares.

Este fue instalado en 2004 y se han tomado registros de manera sistemática cada año. En la figura 56 se muestran los resultados tanto en el manglar de borde como en el interno. En general se observan cambios en la elevación de la superficie en el manglar interno (18.20 a 18.94 cm, una diferencia de 0.74 cm), mientras que en el de borde se observa una disminución en junio del 2006 (variación de 11.95 a 9.68 cm, diferencia de 2.27 cm). Las otras dos localidades donde ya está instalado el SET es en el Ostión instalado en 2007 (2 en Metzapan en el manglar de borde y en el interno; y 1 Huazuntlán uno en el manglar interno). Recientemente en agosto del 2010 se colocaron los SET en el sitio Laguna de Tampamachoco de la localidad Tuxpan.

Línea De Monitoreo LTER sobre Productividad Primaria

Productividad Primaria

Nivel básico: La estructura de la vegetación se presentó dentro de la sección de caracterización y fue realizada en la primera etapa del proyecto 2009 y la segunda caracterización a finales del 2010 para las localidades del norte y en 2011 para las del sur. Los resultados fueron discutidos en la primera parte de este Informe Final.

Nivel 1: Para este nivel se reporta el incremento diamétrico en troncos medido por las cintas dendrométricas colocadas en los arboles de diferentes DAPs cuando se implementaron las parcelas fijas de cada localidad y sitio. Así también se presenta los resultados mensuales de la producción de hojarasca entre 2009 y diciembre del 2011.

En la figura 57 se muestran los resultados del crecimiento en perímetro de los árboles con cintas dendrométricas. En general se observa que aumento el perímetro en todos los individuos y solo en Tamiahua el individuo 3 (*Rhizophora mangle*) y el 9 (*Avicennia germinans*); en Pueblo Viejo los individuos 14 y 15 ambos *A. germinans* y en Tecolutla el individuo 25 (*R. mangle*) registran cero crecimiento. El máximo en perímetro lo registró el individuo 32 (*A. germinans*) ubicado en el manglar interno de Costa Norte en Sontecomapan.

Productividad primaria (hojarasca)

Se cuenta con alrededor de tres años de datos de hojarasca (enero de 2009 a diciembre de 2011) en la sección norte (desde Tamiahua hasta La Mancha-El Llano) del estado de Veracruz. En la sección sur, la primera colecta se inicia en junio de 2009 en las lagunas del El Ostión y Sontecomapan, agosto de 2009 en el sistema lagunar de Alvarado y septiembre 2009 en la laguna de Mandinga y se ha mantenido desde entonces. Los resultados se presentan a continuación por especie de manglar

(*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) y por comunidad (como el aporte conjunto de las tres especies).

Avicennia germinans (Figura 58)

Tanto en el borde como en el interior de manglar el pico de caída de hojas (barras azules) se localiza entre agosto y octubre de 2009, 2010 y 2011 y es más marcado en el interior. Las flores caen de junio a agosto y los propágulos de septiembre hasta noviembre (barras grises). Hay una tendencia a que la caída de hojarasca sea mayor hacia la sección sur del estado de Veracruz, especialmente en La Mancha-El Llano, Mandinga y el sistema lagunar de Alvarado. En Alvarado y Sontecomapan es muy importante el aporte de ramas a la hojarasca en los dos años. Llama la atención la gran proporción de la hojarasca que es aportada como los propágulos, mayor en septiembre y octubre de ambos años.

Rhizophora mangle (Figura 59)

El aporte de *Rhizophora mangle* es mayor en el borde que en la parte interior de los manglares muestreados en los dos años con lo que disponemos. Por otra parte, tanto en el borde como en el interior de manglar el aporte de *Rhizophora* es menor al de *Avicennia*. En *Rhizophora*, el pico de caída de hojarasca está mejor definido que el de *Avicennia* y es de mayo a agosto. Las flores (barras turquesa) caen casi a lo largo de todo el año, pero con picos en los meses de julio a septiembre. El aporte de los propágulos a la hojarasca (barras grises) es mayor de julio a agosto, pero su proporción en peso es menor a la de los propágulos de *Avicennia*. Como con *Avicennia*, hay una tendencia a que la caída de hojarasca sea mayor hacia la sección sur del estado de Veracruz, especialmente en Mandinga, Alvarado y Sontecomapan.

Laguncularia racemosa (Figura 60)

El aporte de *Laguncularia* es el menor de las tres especies de manglar, ya que los bosques bajo estudio están dominados por *Avicennia* en el manglar interno y por *Rhizophora* en el manglar de borde, excepto en las lagunas de Sontecomapan en donde *Laguncularia* es dominante y de Tecolutla, en donde *Laguncularia* codomina con *Avicennia*. Comparando sólo *Laguncularia* entre localidades, el aporte de hojarasca es mayor en los manglares interiores que en los de borde. En *Laguncularia*, no es posible con los datos actuales poder definir picos de caída debido a la baja densidad de esta especie en los sitios de muestreo.

Hojarasca de las tres especie juntas

Como es de esperarse los picos de caída de *Avicennia* y de *Rhizophora* predominan en el manglar interior y de borde, respectivamente (Figura 61). Los aportes máximos de hojarasca corresponden a los meses de septiembre y octubre, independientemente de la localidad, aunque las cantidades aportadas son mayores de 2 g m⁻² día⁻¹ solamente en los manglares del sur (Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión). Sobresale el aporte de propágulos (barras grises) en septiembre y octubre de 2009 y 2010 y después del aporte de hojas (barras azules); en algunos meses el aporte de ramas (barras rosas).

Producción de raíces finas

Hasta el momento se han analizado 5 localidades en algunos de sus sitios y considerando el manglar de borde e interno. En la figura 62 se muestra preliminarmente los primeros resultados de este análisis, y de acuerdo a la gráfica, se observa que la localidad Tuxpan sitio Tampamachoco manglar de borde es el que mayor aporte tiene en peso de raíces finas de 0 a 0.2 cm le siguen las raíces de 0.21 a 0.5 cm tanto en Tampamachoco borde como en Tumilco manglar interno.

Cuadro 5. Indicadores de avance para el estado de Veracruz.

Actividad	Indicador	Avance de lo comprometido en la segunda etapa (%)
Componente I. Caracterización		
Reunión presencial	<p>Videoconferencia 3/11/2008, participando de EPOMEX Dra. Claudia Agraz: de CINVESTAV Dr. Jorge Herrera; de LSU Dr. Víctor Rivera Monroy; de la UJAT M. en C. Humberto Hernández Trejo; del INECOL Dr. Jorge López-Portillo, M. en C. Víctor Vásquez, Biol. León Gómez Aguilar, Dra. Ana Laura Lara Domínguez.</p> <p>Se realizo 22 y 23 de junio en Mérida Yucatán, participando de EPOMEX Dra. Claudia Agraz y Biól. Claudia García Zaragoza; de CINVESTAV Dr. Jorge Herrera, M. en C. Arturo Zaldívar, M. en C. Claudia Teutli; de LSU Dr. Víctor Rivera Monroy; de la UJAT M. en C. Humberto Hernández Trejo; de CONABIO M. en C. Yvonne Simms; del INECOL Dr. Jorge López-Portillo, M. en C. Víctor Vásquez, Dra. Ana Laura Lara Domínguez.</p>	100
Ubicación cartográfica de las parcelas de 10X10 m cada localidad	<p>Se realizó el trabajo de campo en las 8 localidades del norte del estado de Veracruz. Resultados Informe_Final_Proyecto_FN007_08</p> <p style="text-align: center;">Localidad Pueblo Viejo – Tamiahua:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1 Pueblo Viejo se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno 	100

	<ul style="list-style-type: none"> • Sitio 2 Tamiahua se delimitaron 1 parcela en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad Tuxpan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1. Tuxpan (Tumilco), se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 Tuxpan (Tampamachoco), se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad Tecolutla</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1 Tecolutla, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 Nautla, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad La Mancha el Llano</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1 El Llano, se delimitaron 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 La Mancha, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad Laguna de Mandinga</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1. Mandinga Grande, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 Mandinga Chica, se delimitaron 1 parcela en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad Sistema Lagunar Alvarado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1. Laguna Baja, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 Boca de Acula, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad Laguna de Sontecomapan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1. Costa Norte, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 Cacahuate, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno <p style="text-align: center;">Localidad Laguna el Ostión</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitio 1. Huazuntlan, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno • Sitio 2 Metzapan, se delimitaron 2 parcelas en el manglar de borde y 2 parcelas en el manglar interno 	
Levantamiento topográfico	Para cada sitio tanto en el manglar de borde como en el interno se realizo el levantamiento microtopográfico	100
Instalación de estacas para las mediciones de los cambios en el nivel del suelo	Se colocaron 2 tubos de acreción asociados a las parcelas ubicadas en el manglar de borde y en el manglar interno. En la figura 23 se indica la ubicación de estos en relación con la parcela.	100

Clima	Datos históricos, se solicitarán a CONAGUA, ERIC III, para los diferentes localidades seleccionadas	100
Instalación de limnígrafos y piezómetros, lectura de niveles de agua, registro de los niveles de inundación	Se colocaron dos piezómetros uno a 1.2 m de profundidad y otro a 0.5 m asociados a las parcelas ubicadas en el manglar de borde así como en las parcelas ubicadas en el manglar interno.	100
Medición de salinidad en piezómetros y pH, REDOX en suelos. Toma de muestras de suelo, secado y análisis de MO, N, P, densidad y pH	En el archivo Excel Informe_Final_Proyecto_FN007_08, se presentan los resultados de las características físicas del agua intersticial de cada piezómetro, así como la descripción de las facies sedimentarias. Se presentan los resultados de las determinaciones de MO, N, P y densidad en los sedimentos provenientes de los bosques de borde e interno de cada sitio de cada localidad de estudio	100
Instalación de canastas, núcleos y dendómetros, colecta de hojarasca, colecta de núcleos de PVC, medición de los incrementos diamétricos, instalación de sacos con peat moss para crecimiento de raíces finas	Se instalaron 10 canastillas en cada sitio de manglar (5 en el bosque interno y 5 en el de tipo borde) haciendo un total de 80 canastillas para las 8 localidades ubicadas en el sur del estado. La instalación de estas se realizó en enero y febrero para la parte norte y para el sur en junio y agosto por lo que solo se ha hecho una colecta de hojarasca de estas. Se colocaron bandas dendrométricas con el criterio de cubrir 3 individuos en 3 rangos de DAP de cada especie en los sitios de estudio	100
Componente II. Monitoreo		
Clima	Colecta y captura de datos meteorológicos proporcionados por el Centro de Estudios del Clima de la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz. Se incluye como nivel básico de monitoreo en la caracterización ambiental la descripción general del clima y su estructura espacial	100
Elevación y subsidencia	Medición de los cambios en el nivel del suelo. Solo en los manglares del Ostión y la Mancha así como los tubos de acreción. Se instaló 2 SET asociado a las parcelas del manglar de borde y del manglar interno de la Laguna de Tampamachoco. Falta instalación de los SET en las otras localidades	40
Hidroperiodo	Registro de niveles de agua (limnígrafos, piezómetros e inundación), se instalaron 4 HOBO's en los manglares asociados a la Laguna de Tampamachoco como parte del	100

	Proyecto CONABIO HH025.	
Reguladores del suelo	Medición de salinidad, pH, Potencial REDOX, toma de muestras de suelo, secado de muestras de suelo, análisis de MO, N, P, Densidad y pH. Resultados Informe_Final_Proyecto_FN007_08	100
Productividad	Colecta de hojarasca. Resultados Informe_Final_Proyecto_FN007_08	100
	Colecta de núcleos para cuantificar raíces. Resultados Informe_Final_Proyecto_FN007_08	75
	Medición de incrementos diamétricos	90
Base de datos	Captura de datos en archivos Excel	100

Referencias

- Acevedo, F. y A. Luna 2006. Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al Estado de Veracruz en el año 2005, págs. 53-67. In: Tejeda Martínez, A. (coord.) Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana
- Agraz C., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo, J.J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p
- Aguilar S.A. 1988. Materia Orgánica In: Aguilar S.A (Ed.) Métodos de Análisis de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo
- Boumans, R., J. W. Day, Jr. 1994. Effects of two Louisiana marsh management plans on water and materials flux and short-term sedimentation. *Wetlands*, Vol 14, No. 4. pp 247-261
- Cahoon DR, Hensel P, Rybczyk J, McKee KL, Proffitt CE, Perez BC. 2003. Mass tree mortality leads to mangrove peat collapse at Bay Islands, Honduras after Hurricane Mitch. *J Ecol.* 91:1093–105Cahoon y Turner, 1989
- Chapman, V. J. 1975. Mangrove vegetation. J. Cramer, Alemania
- 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 Y. Schaeffer-Novelli, 1983. Introducción a la ecología del manglar. Unesco, Montevideo, 109 p.
- Clough, B. F. 1992. Primary productivity and growth of mangrove forests, 225-249 *In* A.I. R. a. D. M. Alongi, (ed.). *Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union, Washington D.C
- Conabio, 1998, Esquema de tipos Climáticos del estado de Veracruz.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad). 2008. Los Manglares de México. 36 pp.
- Consejo de Recursos Minerales, 1994. *Monografía geológico - minera del Estado de Veracruz*. Ed. Pedagógica Iberoamericana, 123 p
- Dawes, C., 1986. Botánica Marina. Limusa: México, 673 p
- Flores Verdugo, F., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz Hernández, H. López Rosas, D. Benítez Pardo y A.C. Travieso Bello, 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
- Flores Verdugo, F. y C. Agraz, 2009. Determinación de la microtopografía utilizando manguera de nivel. págs. 139- In: Moreno-Casasola P. y B.G. Warner (eds.) *Breviario para describir, observar y manejar humedales*. Costa Sustentable, No. 1. Ramsar, Instituto de Ecología, A.C. CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, Ver. 406 pp
- Garnica, P., R.J. y I. Alcántara A. 2004 Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 55: 23-45
- Gill, A. M., y P. B. Tomlinson. 1977. Studies on the growth of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) 4. The adult root system. *Biotropica* 9:145-155

Hernández Santana, J.R., A. P. Méndez Linares, M Figueroa Mah-Eng. 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

Holdridge, L.R., W. Grenke, W.H. Hatheway, T. Liang y J.A. Tosi, 1971. Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study. Pergamon Press, Oxford

INEGI. 2001. Cuaderno Estadístico Municipal. Tuxpan. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 98 p

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 Espinosa, M., L.G. Matías R., O.A. Fuentes M. y R. Prieto G., 2007. Ciclones Tropicales. Serie Fascículos. CENAPRED, Sria. Gobernación. 55 pp

Komiyama, A., H. Moriya, y K. Ogino. 1989. A quantitative analysis of root system of mangrove tree species in Iriomote Island, southern Japan. *Galaxea* 8:89-96

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 mangrove to salinity in two geofoms. *Functional Ecology*, 3(3): 355-361

López-Portillo, J. y E. Ezcurra 1989b. Zonation in mangrove and salt marsh vegetation at Laguna de Mecoacan Mexico. *Biotropica* 21(2): 107-114

López-Portillo, J. y E. Ezcurra, 2002. Los manglares de México: Una revisión. *Madera y Bosques*, (Num. Esp.) 27-51

López-Portillo, J., M.L. Martínez, P. Hesp, J.R. Hernández Santana, A.P. Méndez Linares, Víctor Vásquez-Reyes, L.R. Gómez Aguilar , O. Jiménez Orocio, S. Gachuz Delgado. 2011. Atlas de las Costas de Veracruz: Manglares y Dunas. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana.249 p.

McKee, K.L. 2011. Biophysical controls on accretion and elevation change in Caribbean mangrove ecosystems. [Estuarine, Coastal and Shelf Science, 91\(4\): 475-483](#)

McKee, K.L., D.R. Cahoon y I.C. Feller 2007. Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 545-556.

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-Linares, 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

Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (MexLTER) 2010. <http://www.mexlter.org.mx>

Moreno-Casasola, P., Rojas-Galaviz, J.L., Zárate-Lomelí, D., Ortíz 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.

Ramsar. 2002. Resolución VIII.32, Conservación, manejo integral y uso sostenible de los ecosistemas de manglar y sus recursos. Ramsar 2002, http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios_ramsar.html

Rivera-Monroy, V., Twilley, R.R., Bone, D., Childers, D.L., Coronado-Molina, C., Feler, I.C., Herrera-Silveira, J.A., Jaffe, R., Mancera E., Rejmankova, E., Salisbury, J.H., Weil E. 2004. A conceptual framework to develop long-term ecological research and management objectives in the wider Caribbean region. *BioScience*, 54 (9):843-856

Soto, M., L. Gama y M. Gómez 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 3(2): 31-40

Tejeda Martínez 2006 Panorámica de las inundaciones en el Estado de Veracruz durante 2005, págs. 9-20. . In: Tejeda Martínez, A. (coord.) *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. Universidad Veracruzana

Thom, B.G. 1967. Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tabasco, Mexico. *Journal of Ecology*, 55: 301-343

Twilley, R. R., V. H. Rivera-Monroy, R. Chen, y L. Botero. 1999. Adapting an ecological mangrove model to simulate trajectories in restoration ecology. *Marine Pollution Bulletin* 37:404-419

Wada, H., y T. Takagi. 1988. Soil-water-plant relationships of mangroves in Thailand. *Galaxea* 7:257-270

Zaldívar, A., Herrera-Silveira, J.A., Y Capurro, L. 2001. Soil salinity and community structure of two mangrove forests in yucatan, southeastern mexico. *International association of theoretical and applied limnology, 27th congress in Dublin, Irlanda, 1998. Proceedings Williams, W.D. (ed.). Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27(3): 1707-1710

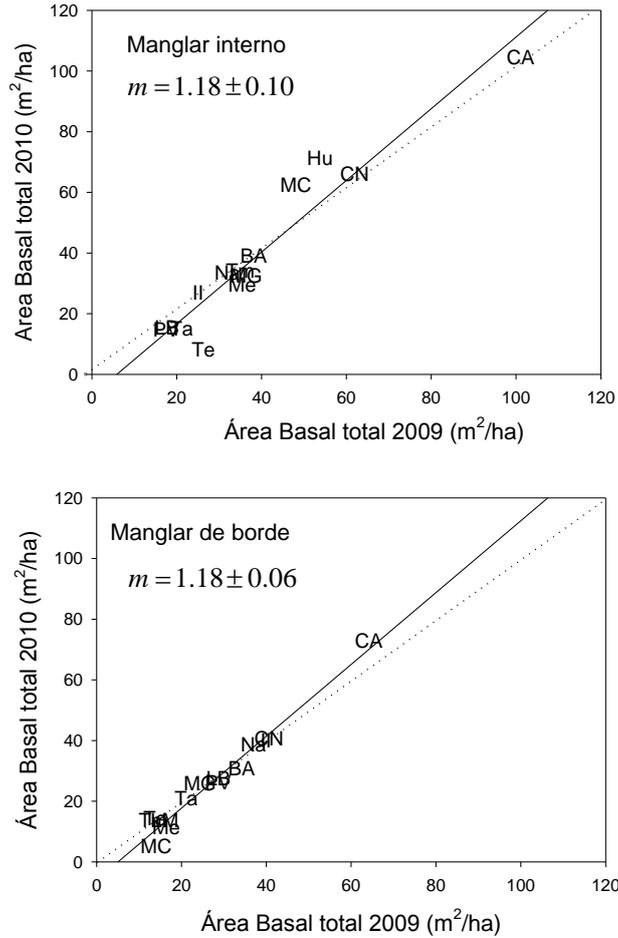


Figura 25. Relación entre el área basal total de 2009 y 2010, tanto para el manglar interno como de borde (PV = Pueblo Viejo, II = Isla del Ídolo, Tm = Tumiico, Ta = Tampamachoco, Te = Tecolutla, Na = Nautla, LI = El Llano, LM = La Mancha, MC = Mandinga Chica, MG = Mandinga Grande, LB = Laguna Baja, BA = Boca de Acuña, CA = Cacahuate, CN = Costa Norte, Me = Metzapan, Hu = Huazuntlan).

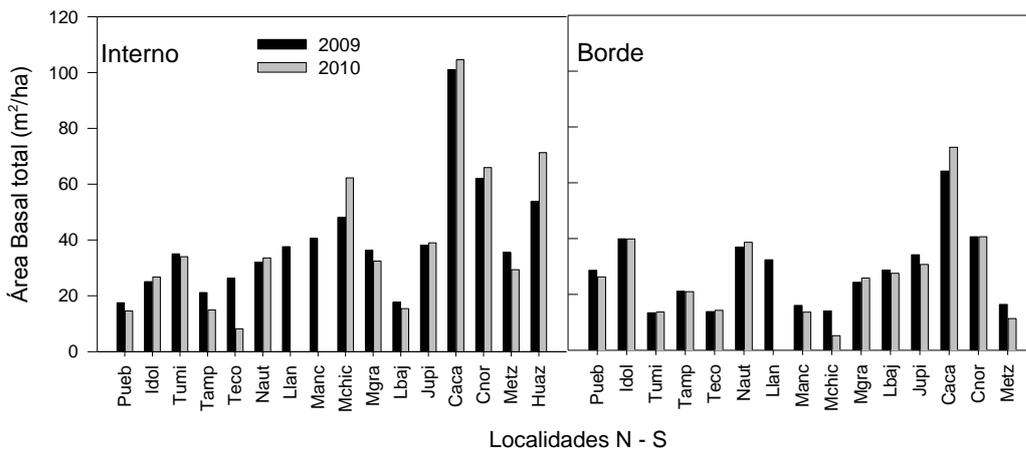


Figura 26. Área basal total para cada una de las localidades estudiadas correspondientes a las dos etapas de caracterización de la estructura de la comunidad (2009-2011) tanto en el manglar interno como de borde.

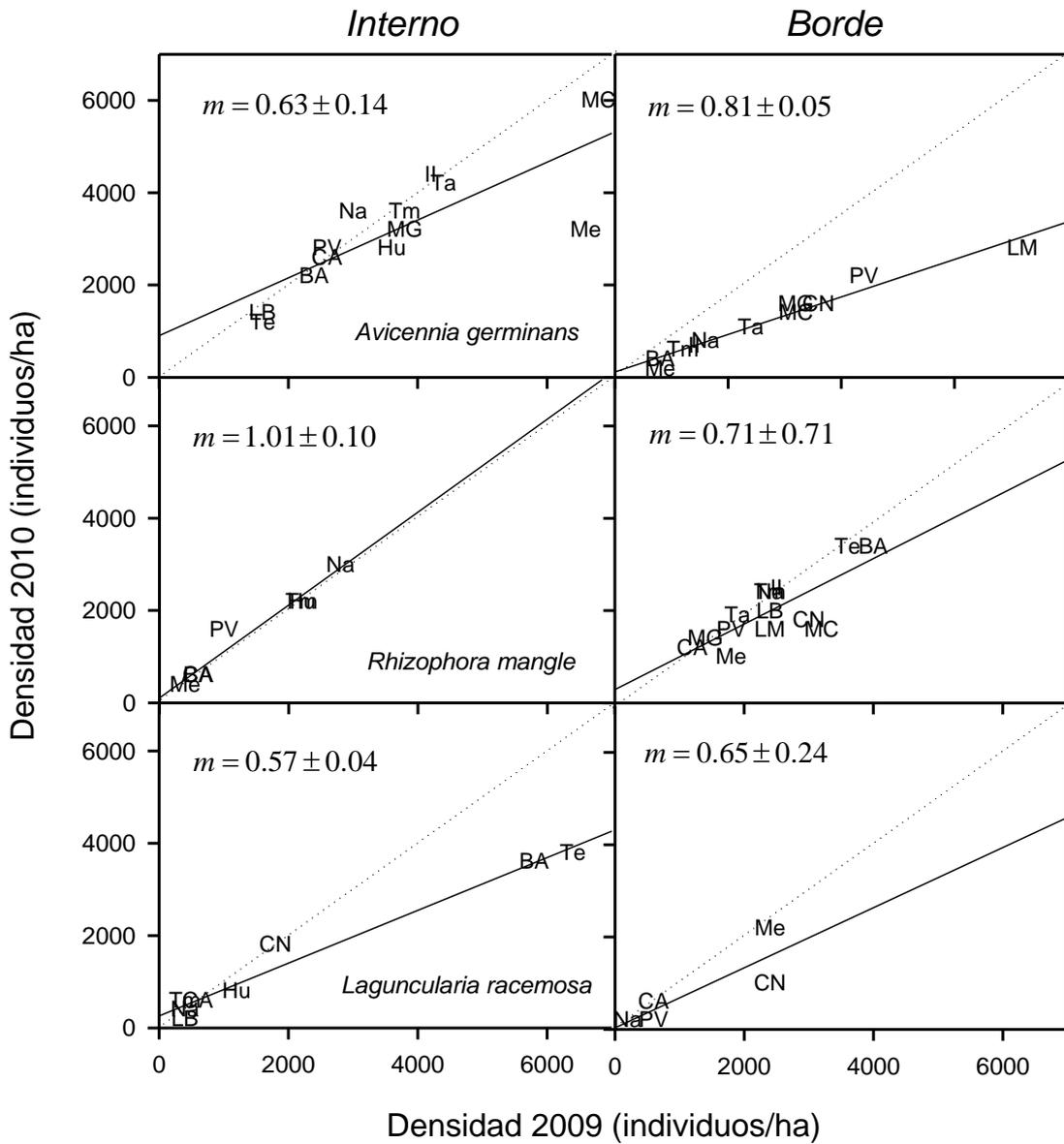


Figura 27. Relación entre la densidad total por especie de 2009 y 2010, tanto para el manglar interno como de borde (PV = Pueblo Viejo, II = Isla del Ídolo, Tm = Tumilco, Ta = Tampamachoco, Te = Tecolutla, Na = Nautla, LI = El Llano, LM = La Mancha, MC = Mandinga Chica, MG = Mandinga Grande, LB = Laguna Baja, BA = Boca de Acula, CA = Cacahuate, CN = Costa Norte, Me = Metzapan, Hu = Huazuntlan).

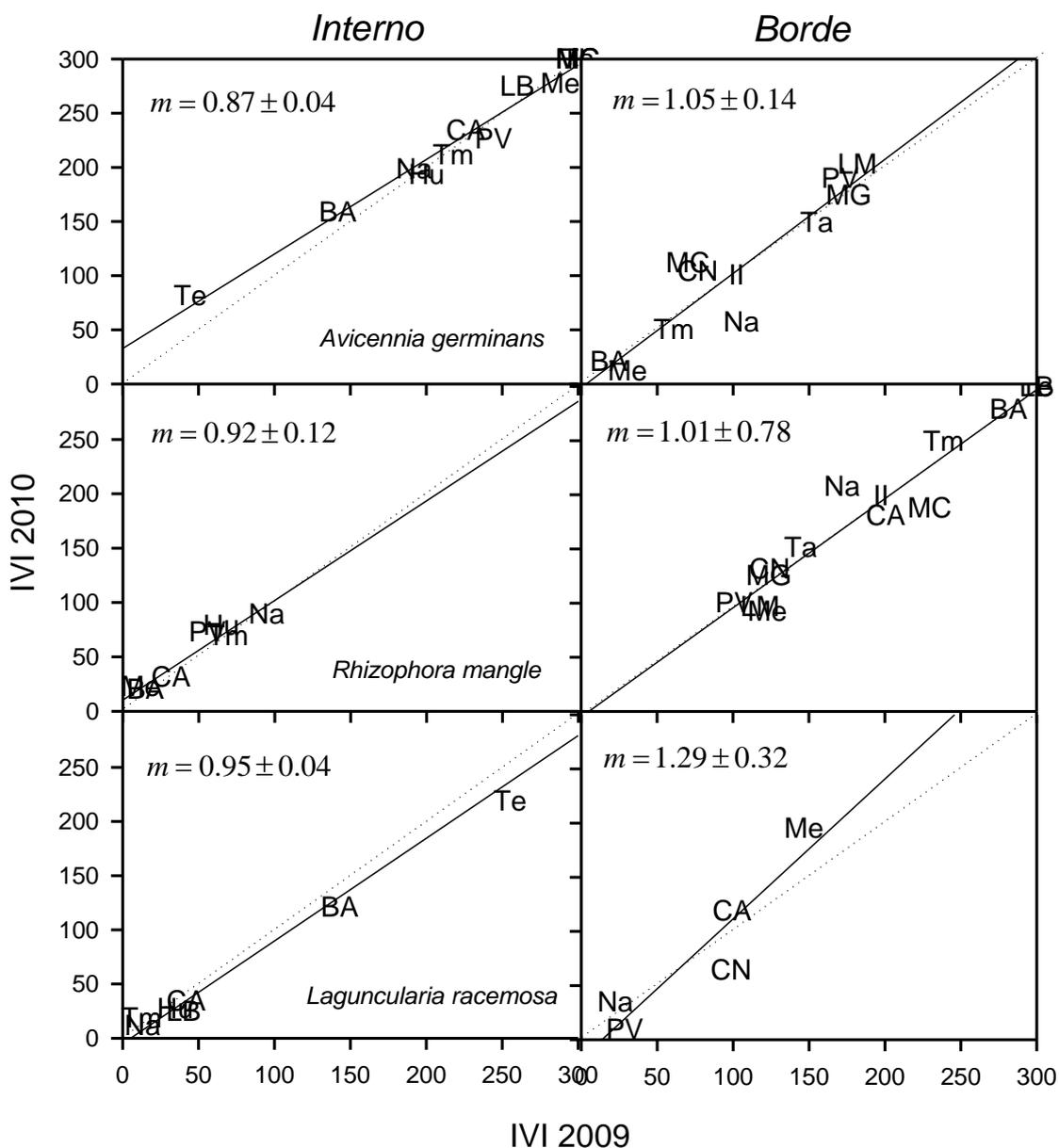


Figura 28. Relación entre el Índice del Valor de Importancia por especie de 2009 y 2010, tanto para el manglar interno como de borde (PV = Pueblo Viejo, II = Isla del Ídolo, Tm = Tumilco, Ta = Tampamachoco, Te = Tecolutla, Na = Nautla, LI = El Llano, LM = La Mancha, MC = Mandinga Chica, MG = Mandinga Grande, LB = Laguna Baja, BA = Boca de Acula, CA = Cacahuate, CN = Costa Norte, Me = Metzapan, Hu = Huazuntlan).

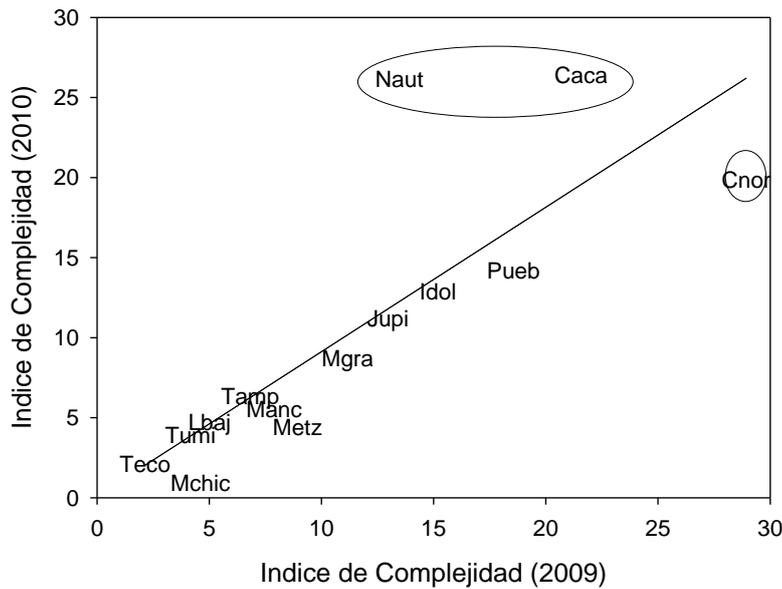
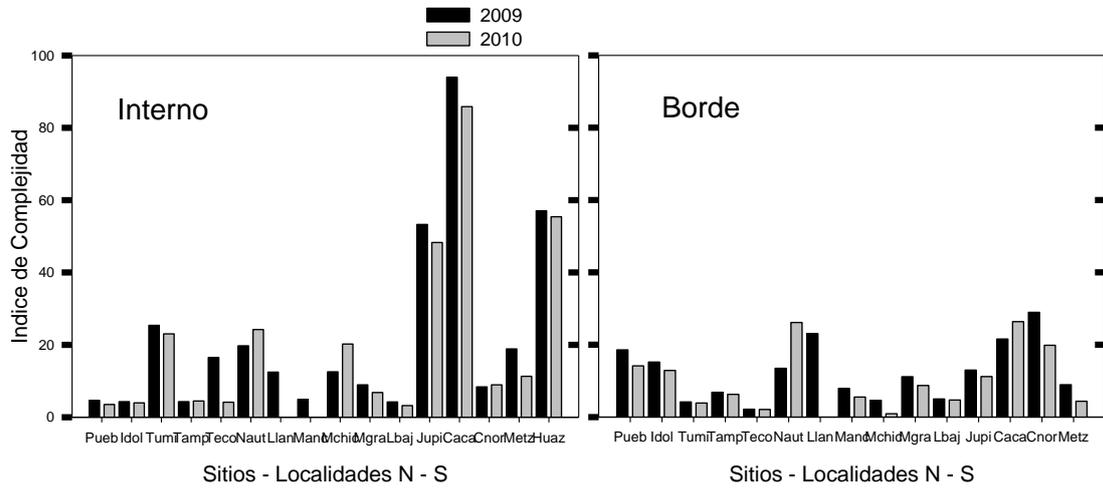


Figura 29 Relación entre el Índice Complejidad para toda la comunidad por sitios de muestreo de 2009 y 2010, tanto para el manglar interno como de borde (Pueb = Pueblo Viejo, Idoll = Isla del Ídolo, Tumi = Tumilco, Tamp = Tampamachoco, Teco = Tecolutla, Naut = Nautla, Llano = El Llano, Manc = La Mancha, Mchic = Mandinga Chica, Mgre = Mandinga Grande, Lbaj = Laguna Baja, Jupí = Boca de Acuña, Caca = Cacahuate, Cnor = Costa Norte, Metz = Metzapan, Huaz = Huazuntlan).

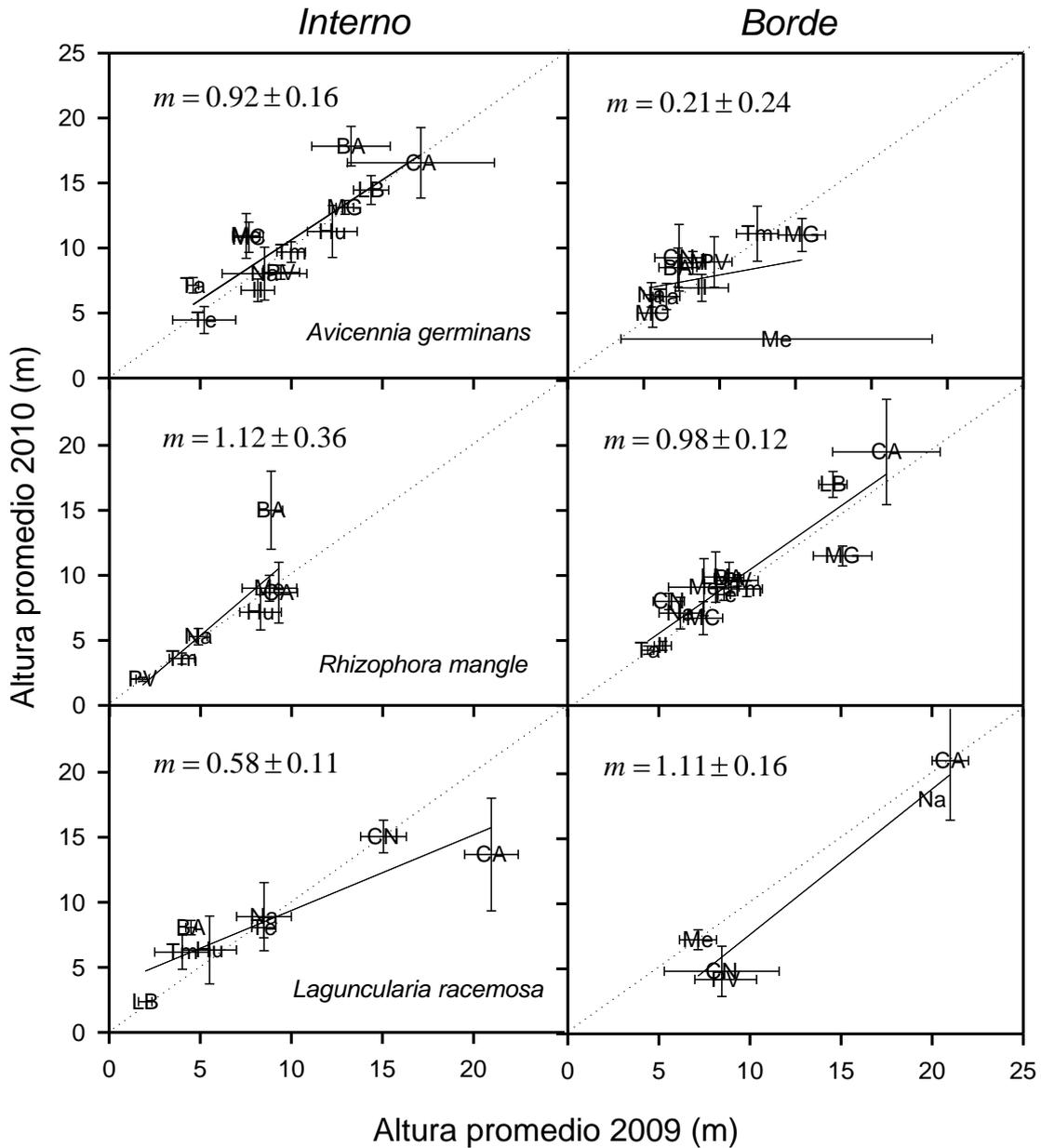


Figura 30. Relación entre la altura promedio en metros por especie de 2009 y 2010, tanto para el manglar interno como de borde (PV = Pueblo Viejo, II = Isla del Ídolo, Tm = Tumulco, Ta = Tampamachoco, Te = Tecolutla, Na = Nautla, LI = El Llano, LM = La Mancha, MC = Mandinga Chica, MG = Mandinga Grande, LB = Laguna Baja, BA = Boca de Acula, CA = Cacahuate, CN = Costa Norte, Me = Metzapan, Hu = Huazuntlan).

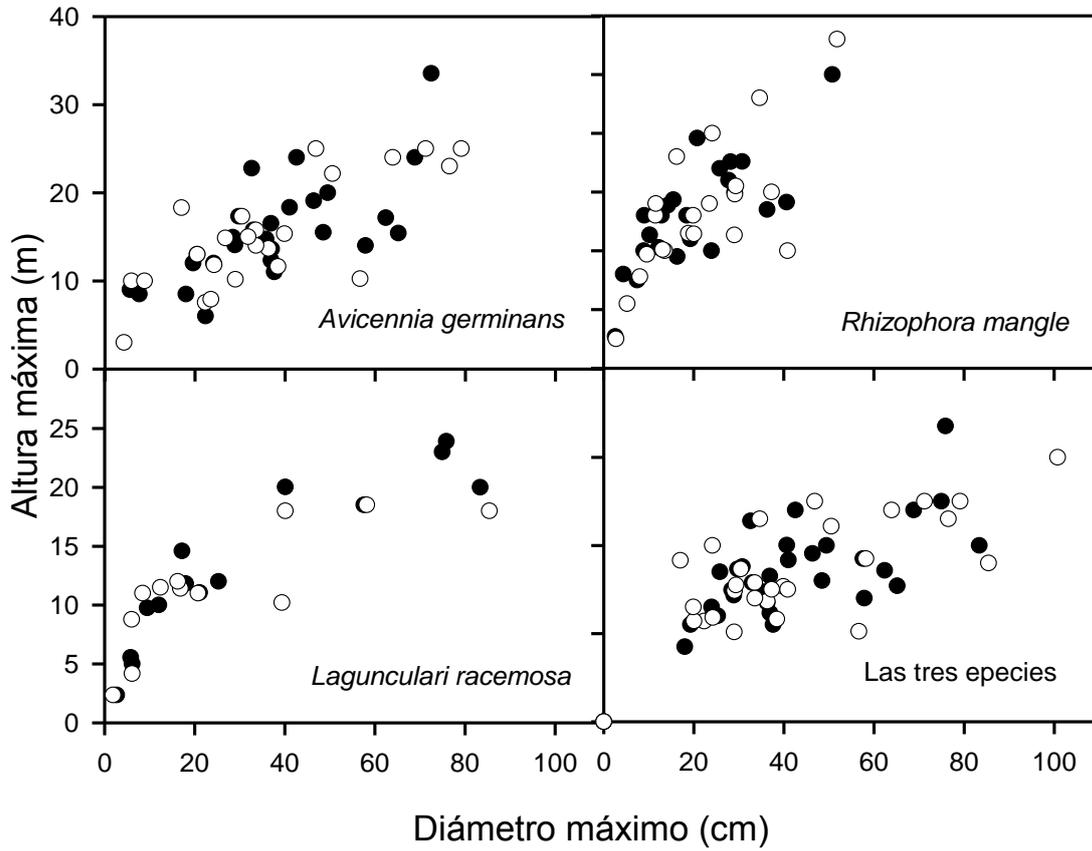


Figura 31. Relación entre el máximo diámetro y la altura máxima registrada para cada especie y par la comunidad completa tanto para el manglar de borde como el interno. Los círculos claros corresponden a 2009 y los negros a 2010.

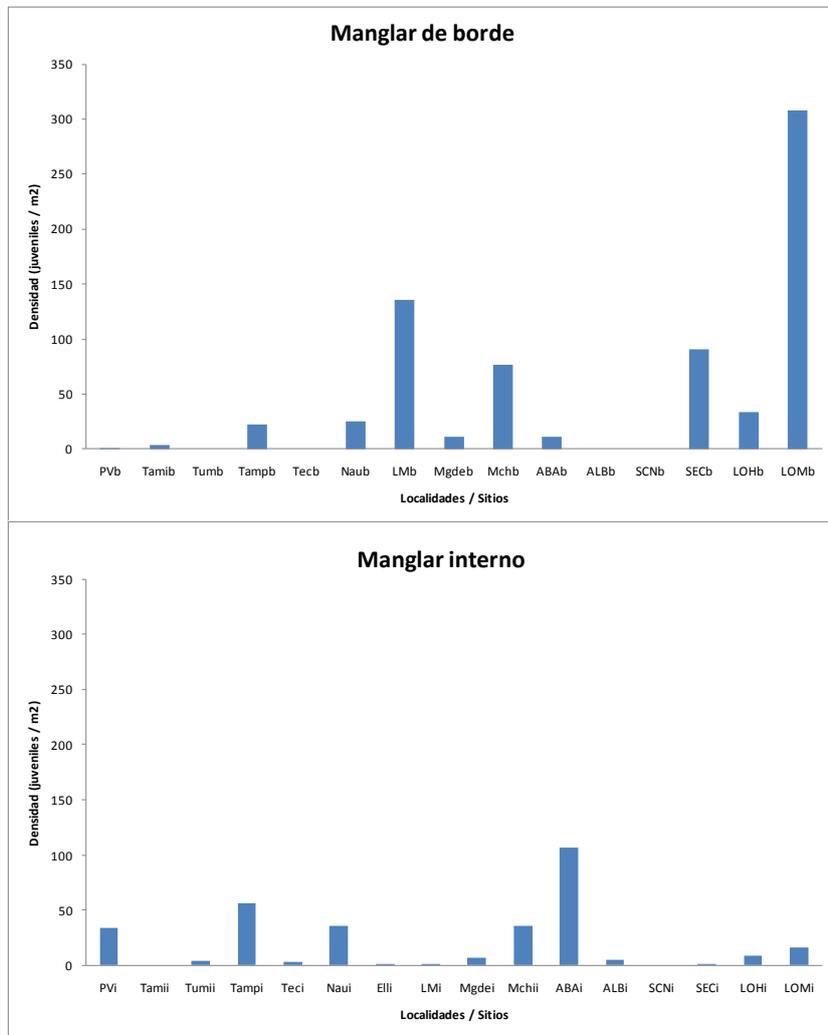


Figura 32. Densidad de juveniles (individuos/m²) en cada localidad / sitio para el manglar de borde y manglar interno

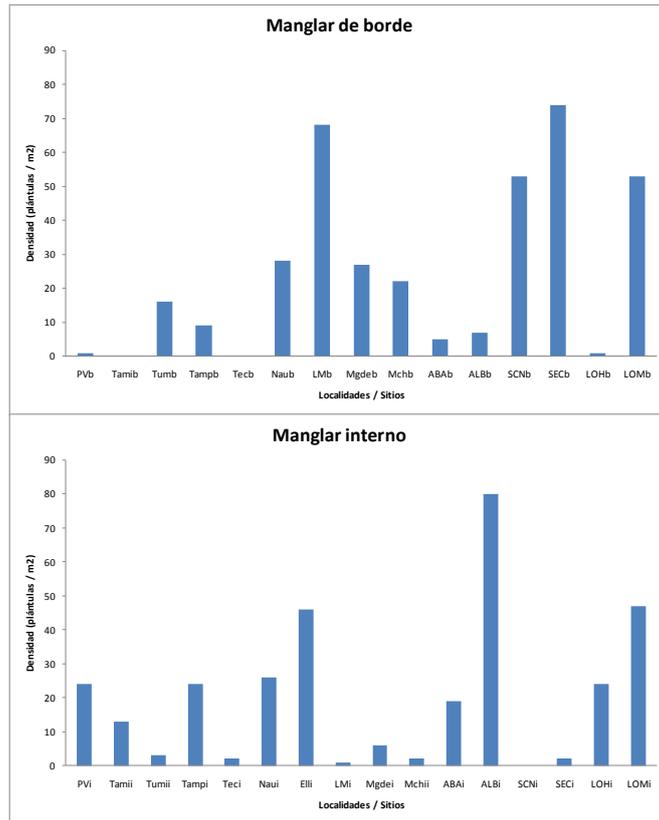


Figura 33. Densidad de plántulas (individuos/m²) en cada localidad / sitio para el manglar de borde y manglar interno.

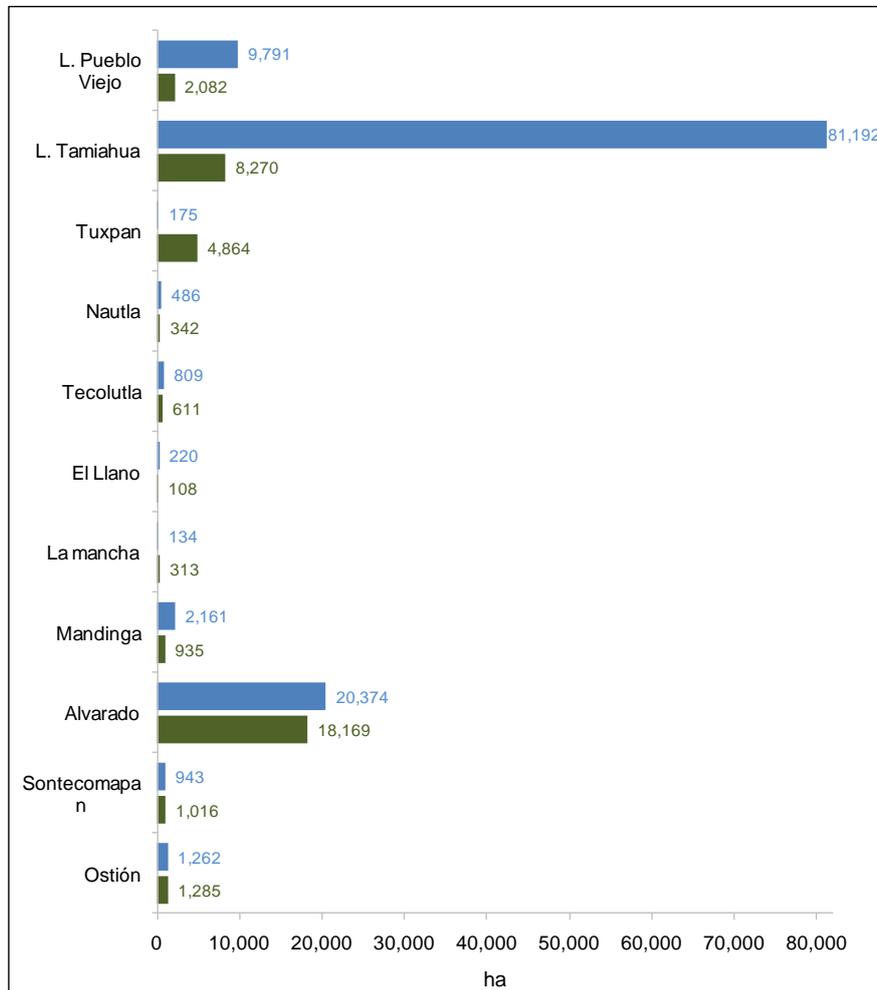


Figura 34. Muestra la superficie de cuerpo de agua (barra azul) y la superficie de manglar (barra verde) de las localidades estudiadas.

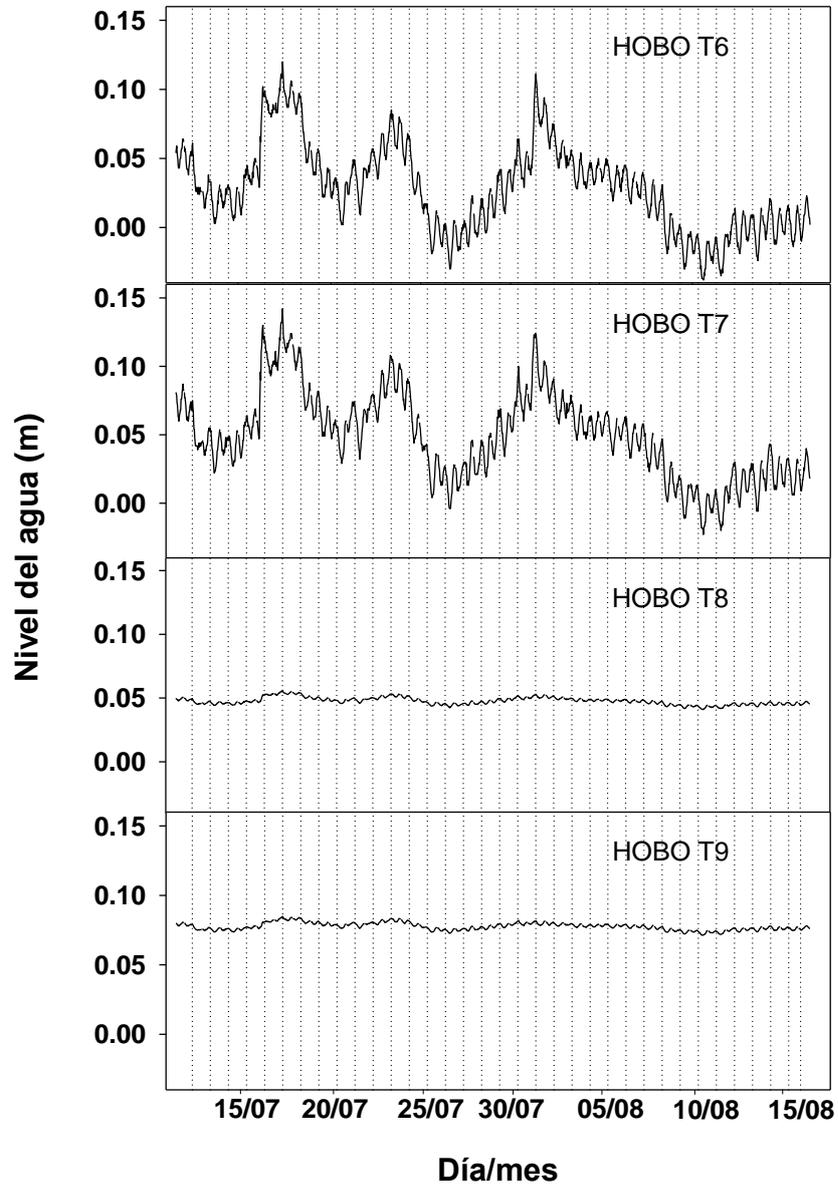


Figura 35. Cambios en el nivel freático tomados con *leveloggers* (Hobos) del 12 de julio al 16 de agosto de 2011 en cuatro localidades, dos externas a los terraplenes (Hobos 6 y 7) y dos dentro de los terraplenes (Hobos 8 y 9). La fluctuación del nivel de agua es mucho menor en los Hobos dentro de los terraplenes.

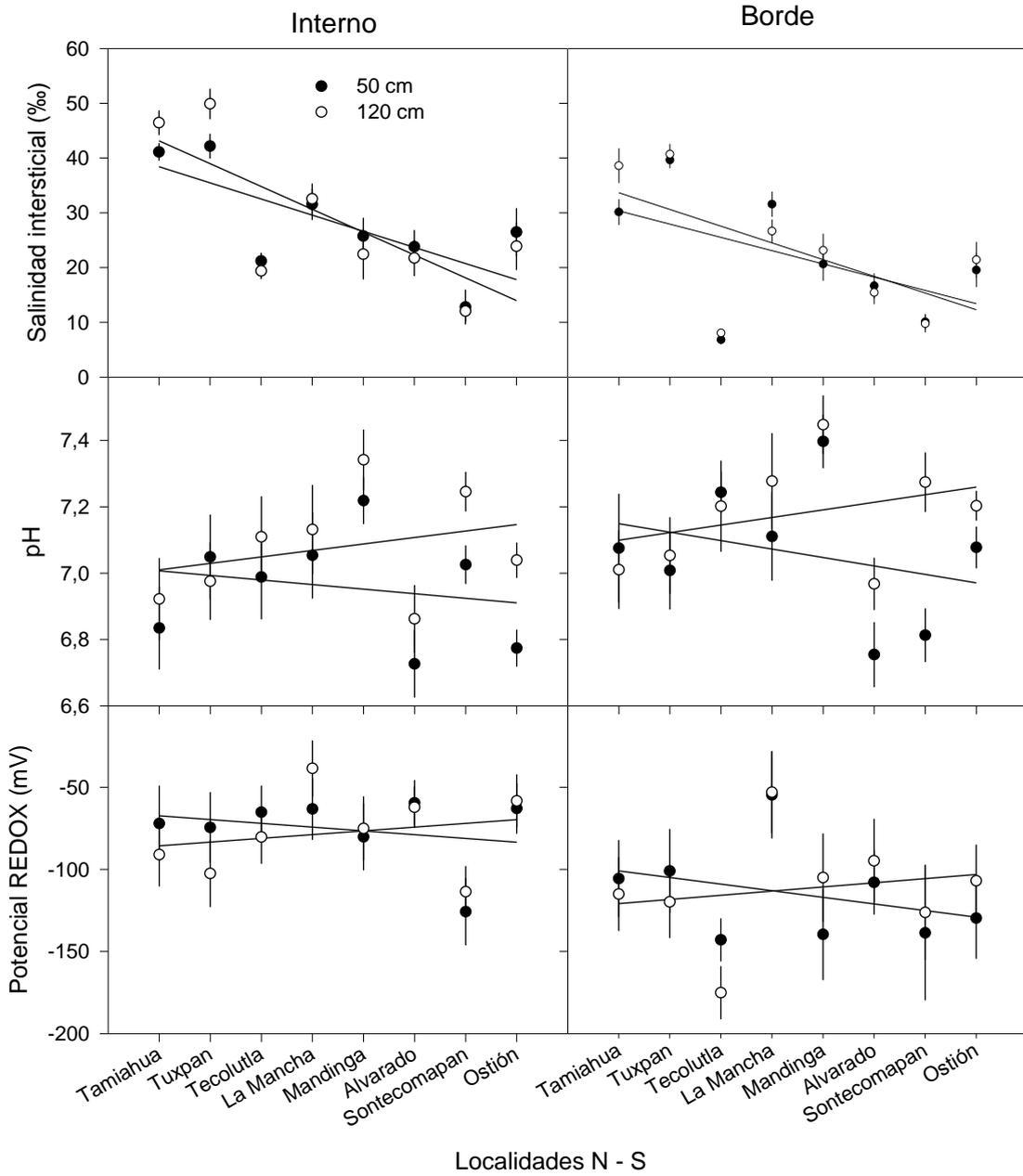


Figura 40. Promedio de la salinidad, pH y Potencial REDOX del agua intersticial a diferentes profundidades (0.5 y 1.2 m) por tipo de manglar interno y de borde tanto en la región norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) como en la región sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión). Barras verticales un error estándar

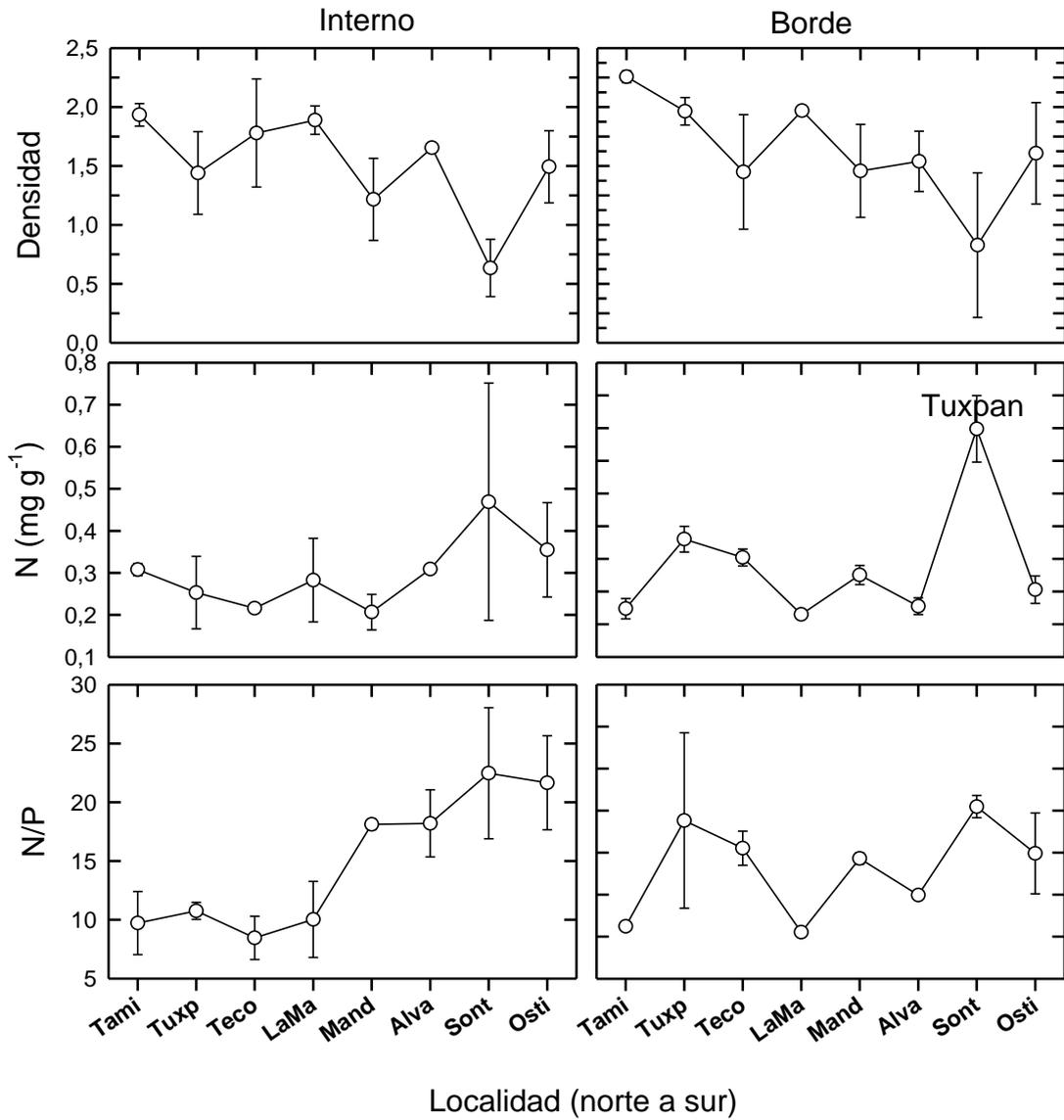


Figura 41. Variación en densidad del suelo, nitrógeno y la relación N/P en las localidades de manglar organizadas de norte a sur. Barras verticales: un error estándar (Pueb = Pueblo Viejo, Idoll = Isla del Ídolo, Tumi = Tumilco, Tamp = Tampamachoco, Teco = Tecolutla, Naut = Nautla, Llano = El Llano, Manc = La Mancha, Mchic = Mandinga Chica, Mgre = Mandinga Grande, Lbaj = Laguna Baja, Jupi = Boca de Acula, Caca = Cacahuate, Cnor = Costa Norte, Metz = Metzapan, Huaz = Huazuntlan).

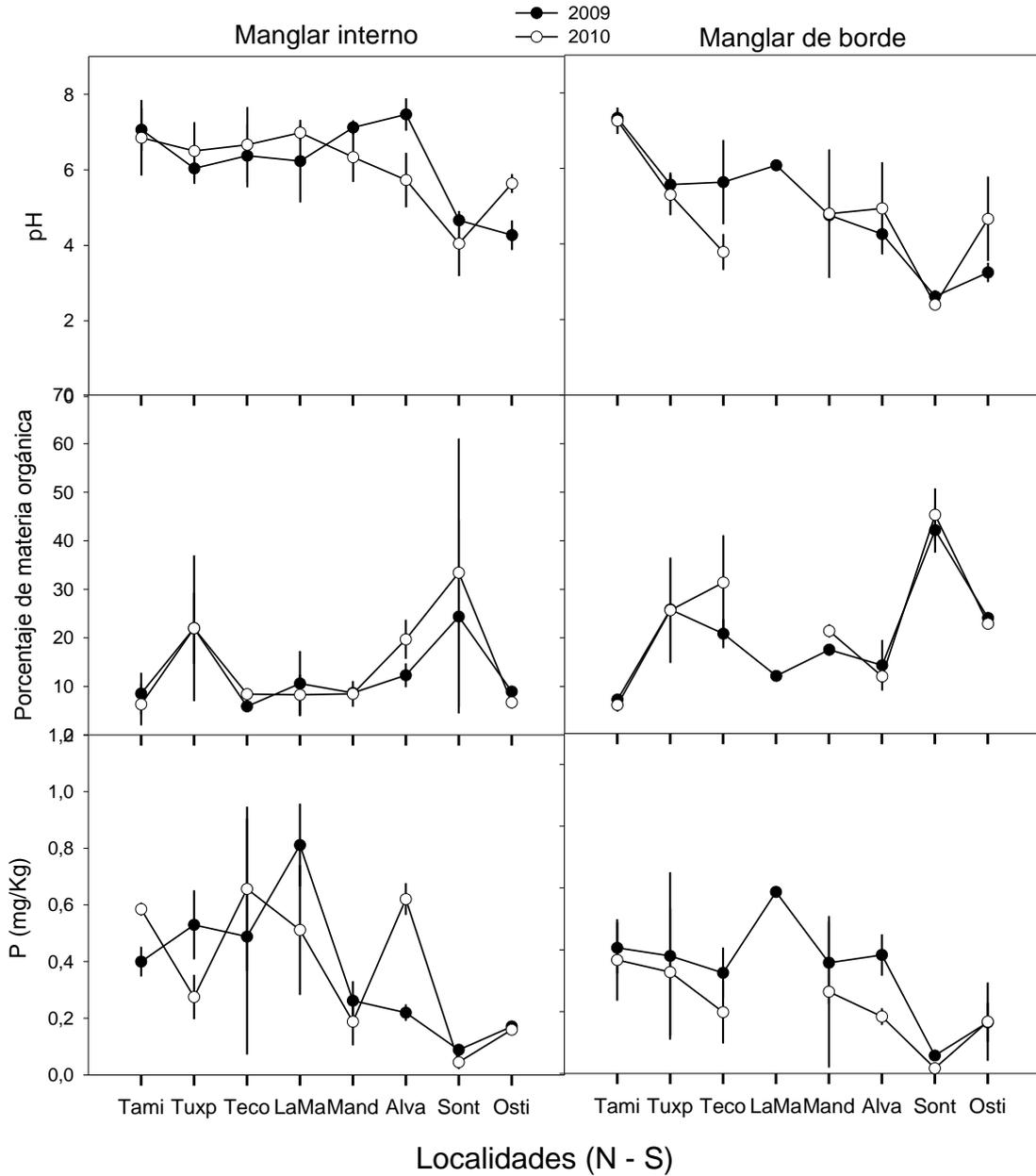


Figura 42. Variación en pH del suelo, porcentaje de materia orgánica y contenido de Fósforo en mg/Kg en las localidades de manglar organizadas de norte a sur. Barras verticales: un error estándar (Pueb = Pueblo Viejo, Idoll = Isla del Ídolo, Tumi = Tumilco, Tamp = Tampamachoco, Teco = Tecolutla, Naut = Nautla, Llano = El Llano, Manc = La Mancha, Mchic = Mandinga Chica, Mgre = Mandinga Grande, Lbaj = Laguna Baja, Judi = Boca de Acula, Caca = Cacahuate, Cnor = Costa Norte, Metz = Metzapan, Huaz = Huazuntlan).

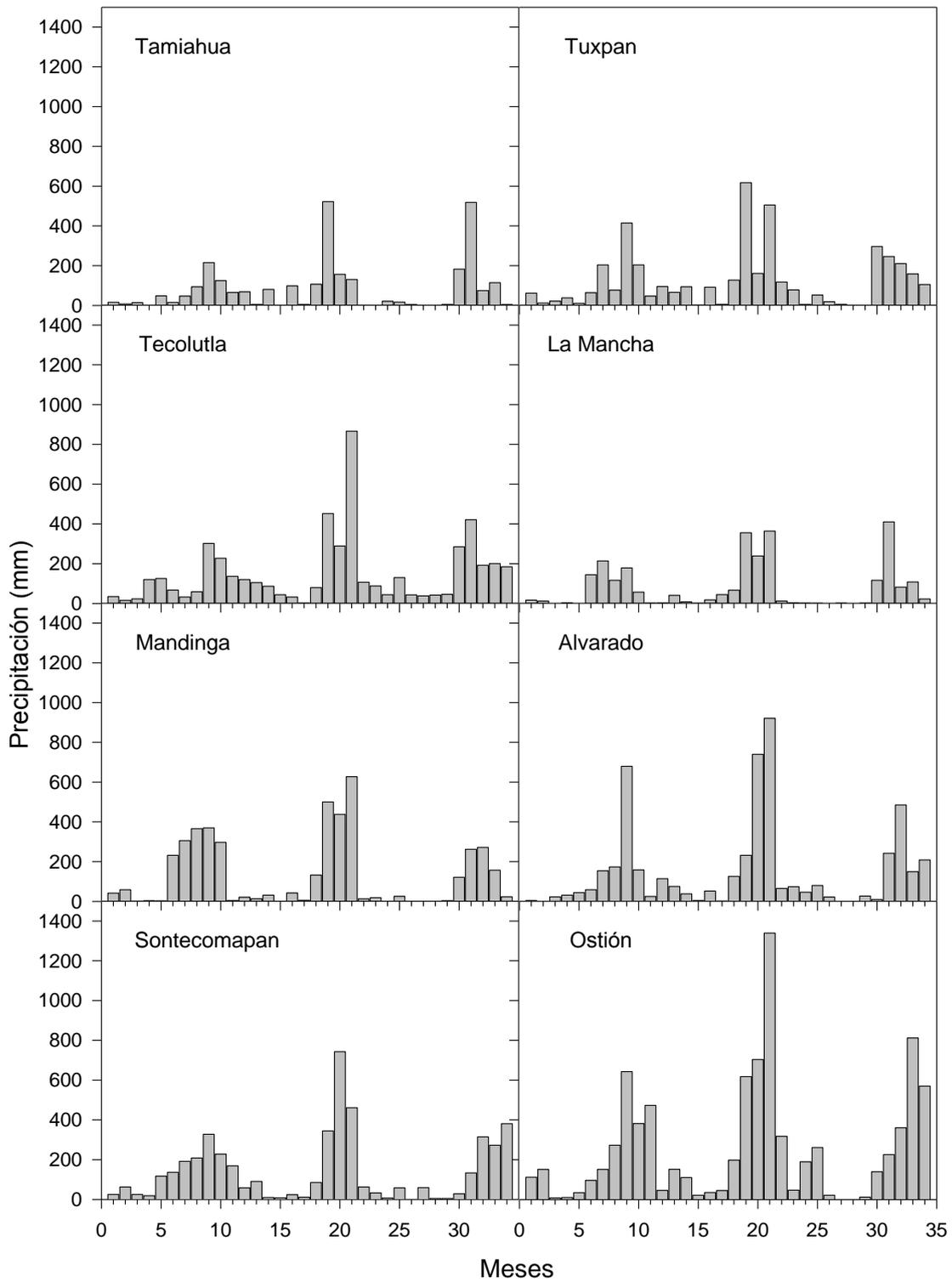


Figura 43. Precipitación mensual en mm durante el periodo de desarrollo del Proyecto (2009 a 2011) en cada una de las localidades estudiadas.

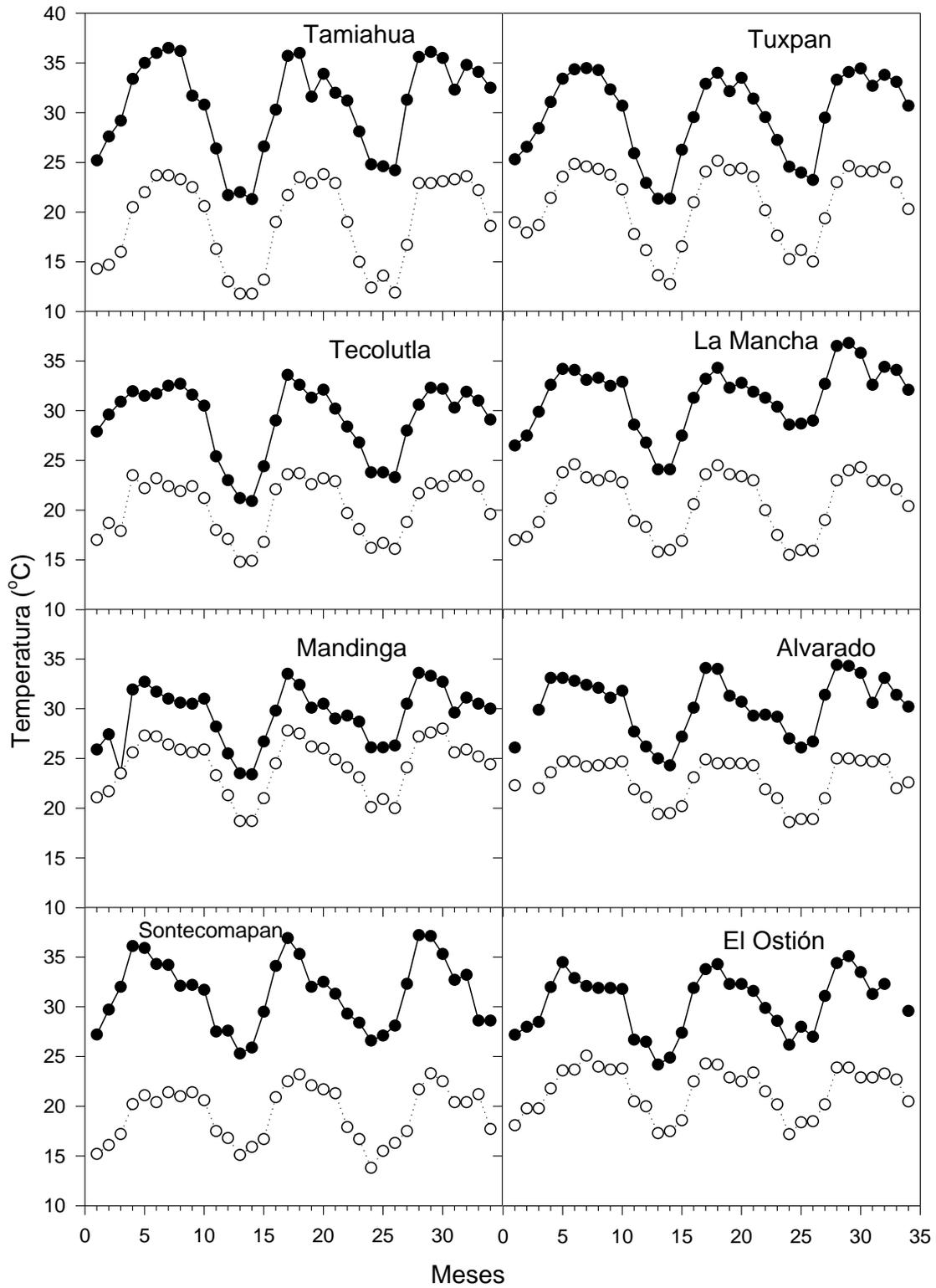


Figura 44. Temperatura máxima y Temperatura mínima mensual en °C durante el periodo de desarrollo del Proyecto (2009 a 2011) en cada una de las localidades estudiadas.

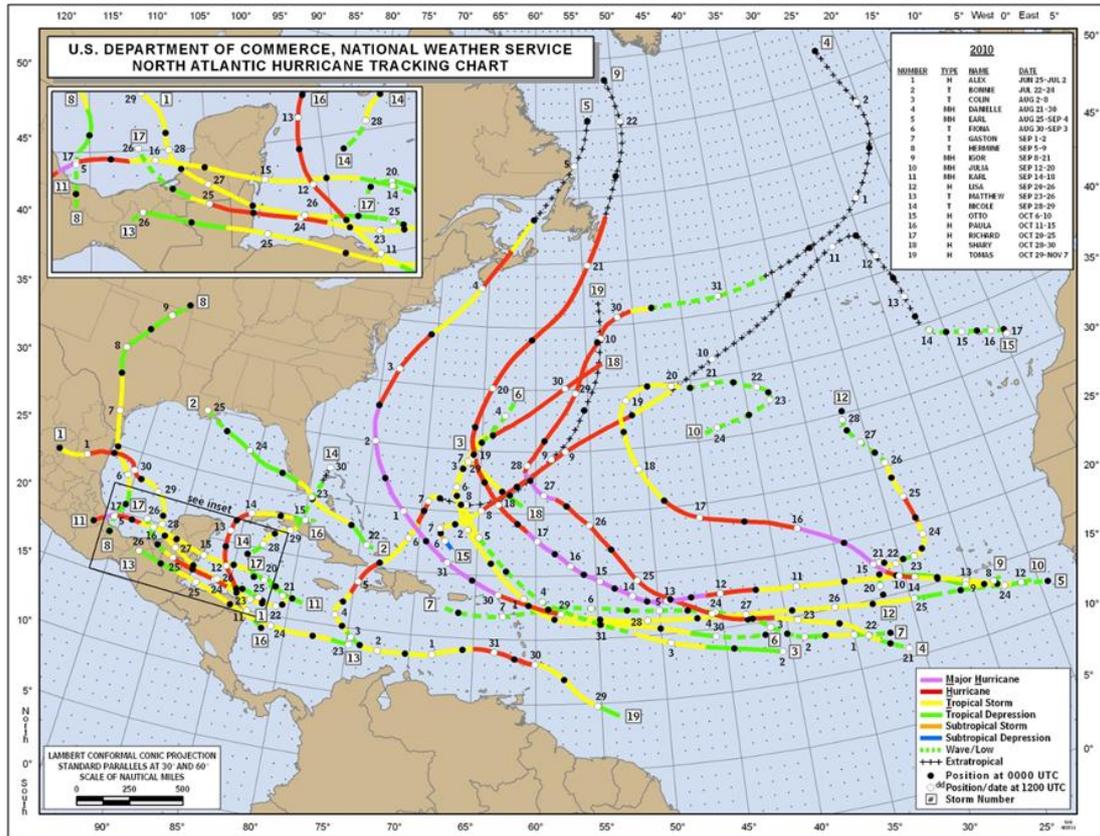


Figura 45. Se muestran las trayectorias de los huracanes que se registraron en el Golfo de México durante 2010. El litoral del estado de Veracruz fue impactado por dos huracanes Karl (14 – 18 septiembre) y Alex (25 Junio – 2 julio) y dos tormentas tropicales Hermine (5-9 septiembre) y Matthew (23-26 septiembre). Información proveniente del National Hurricane Center de la NOAA (<http://www.nhc.noaa.gov/2010atlan.shtml>, consultado el 31 de agosto del 2011)

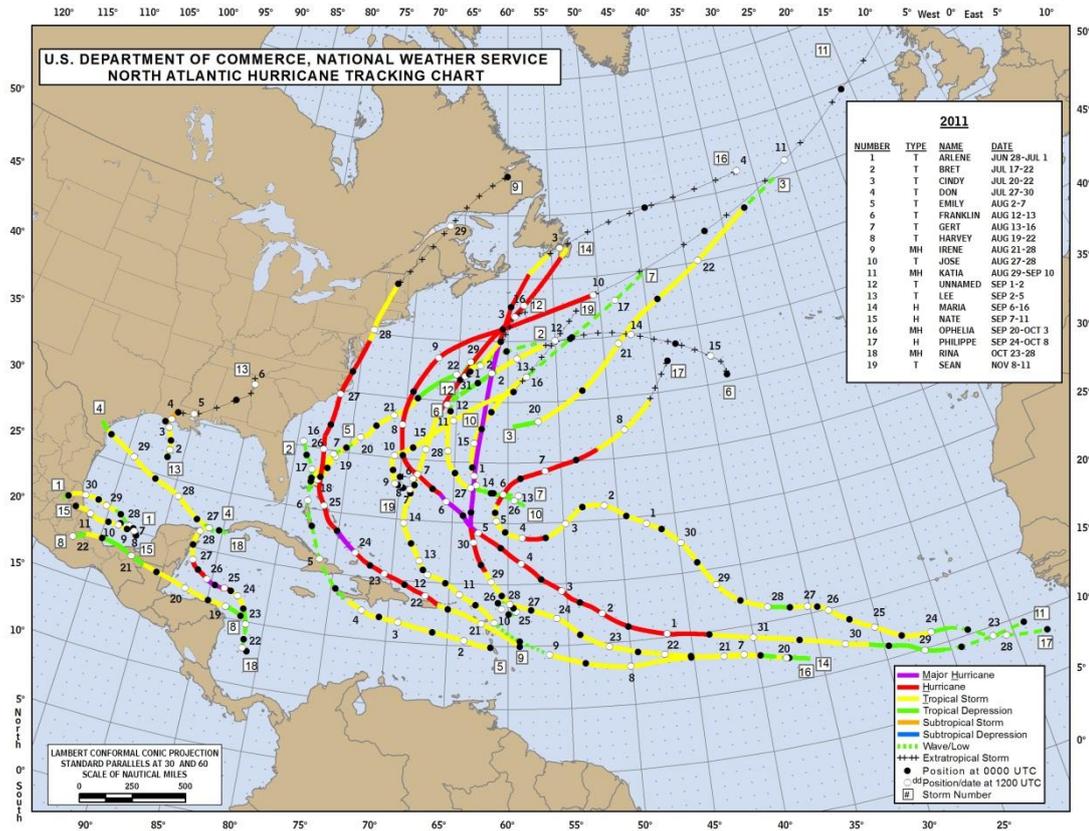


Figura 46. Se muestran las trayectorias de los huracanes que se registraron en el Golfo de México durante 2011. El litoral del estado de Veracruz fue impactado por un huracán Nate (7 – 11 septiembre) y y dos tormentas tropicales Arlene (junio 28 a 1 de julio) y Harvey (19-22 agosto). Información proveniente del National Hurricane Center de la NOAA (<http://www.nhc.noaa.gov/2010atlan.shtml>, consultado el 29 de marzo del 2012)

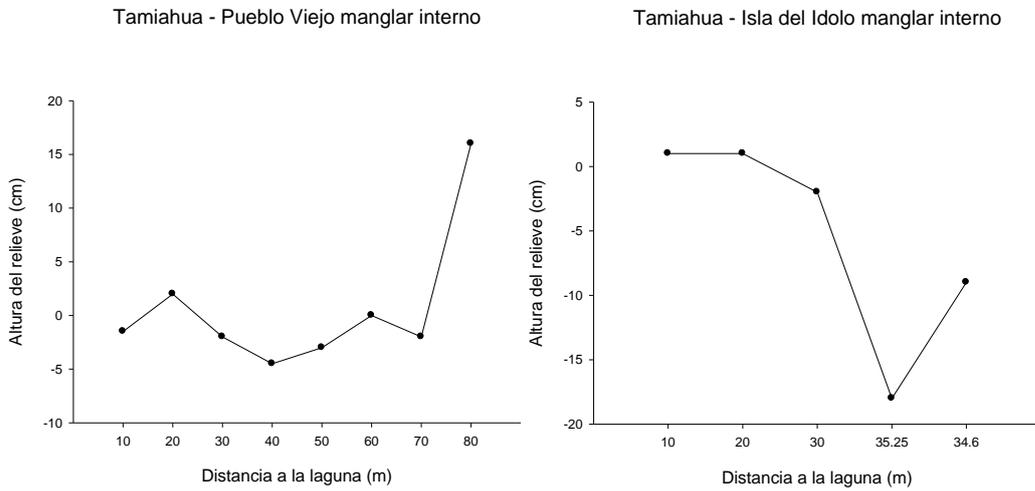


Figura 47. Localidad Tamiahua – Pueblo Viejo. Perfil del relieve de manglar interno en el sitio Pueblo Viejo de la localidad Tamiahua y del manglar de borde en el sitio Isla del Ídolo.

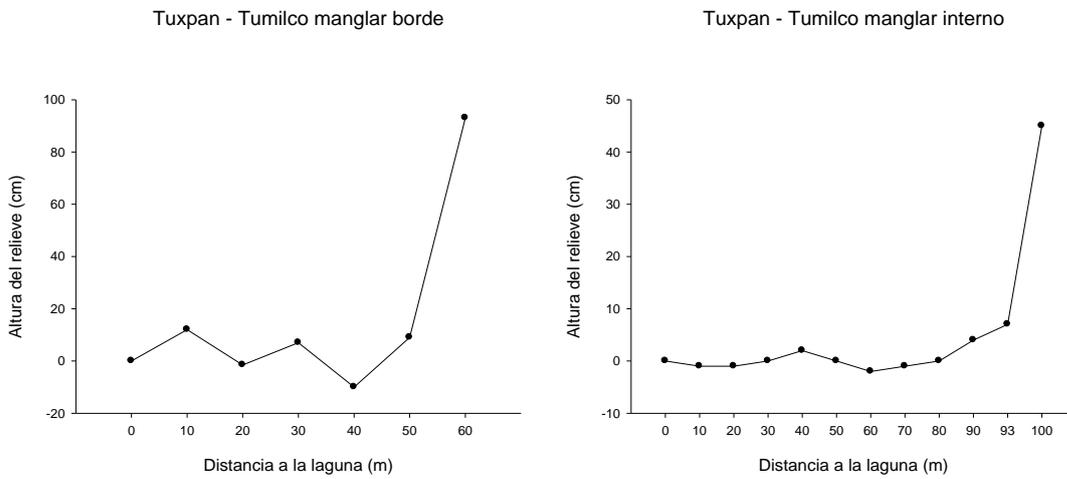


Figura 48. Localidad Tuxpan – Tampamachoco. Perfil del relieve del manglar interno y de borde en el sitio Tumilco.

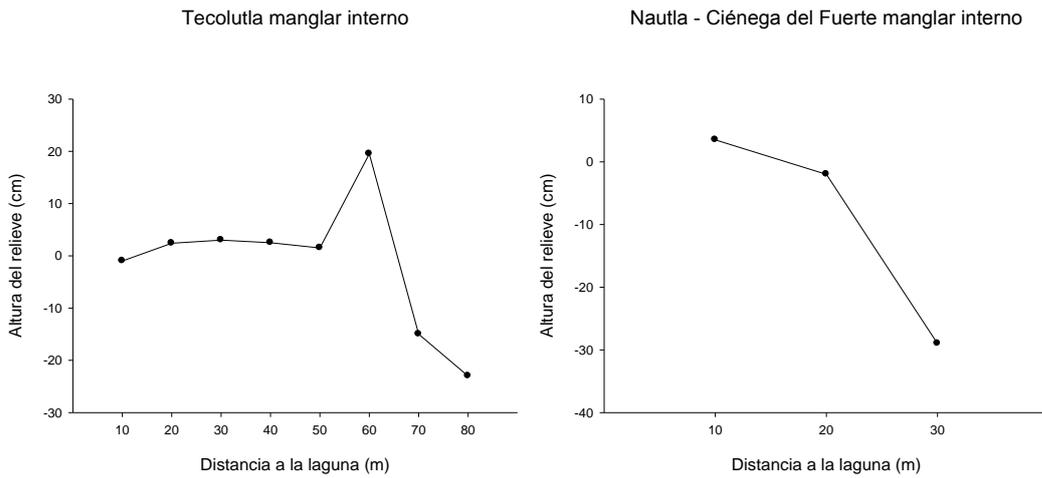


Figura 49. Localidad Tecolutla - Nautla. Perfil del relieve del manglar interno en los sitios Tecolutla y Ciénega del Fuerte

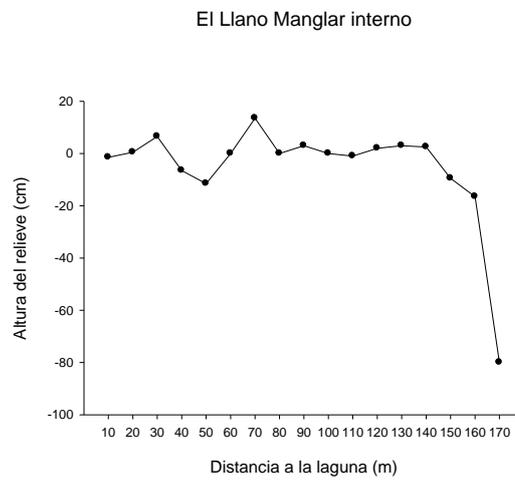


Figura 50. Localidad La Mancha – El Llano. Perfil del relieve del manglar interno del sitio El Llano

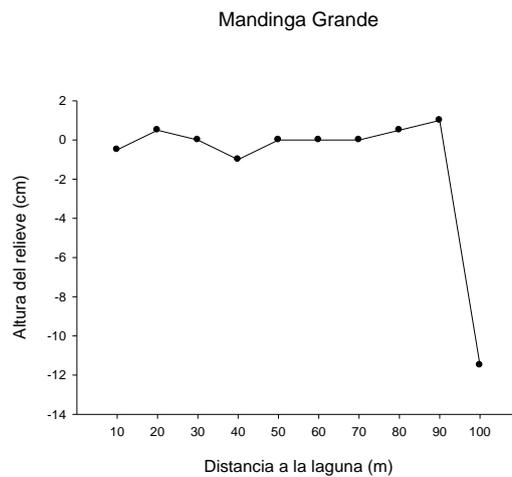


Figura 51. Localidad Mandinga. Perfil del relieve del manglar de borde en el sitio Mandinga Grande

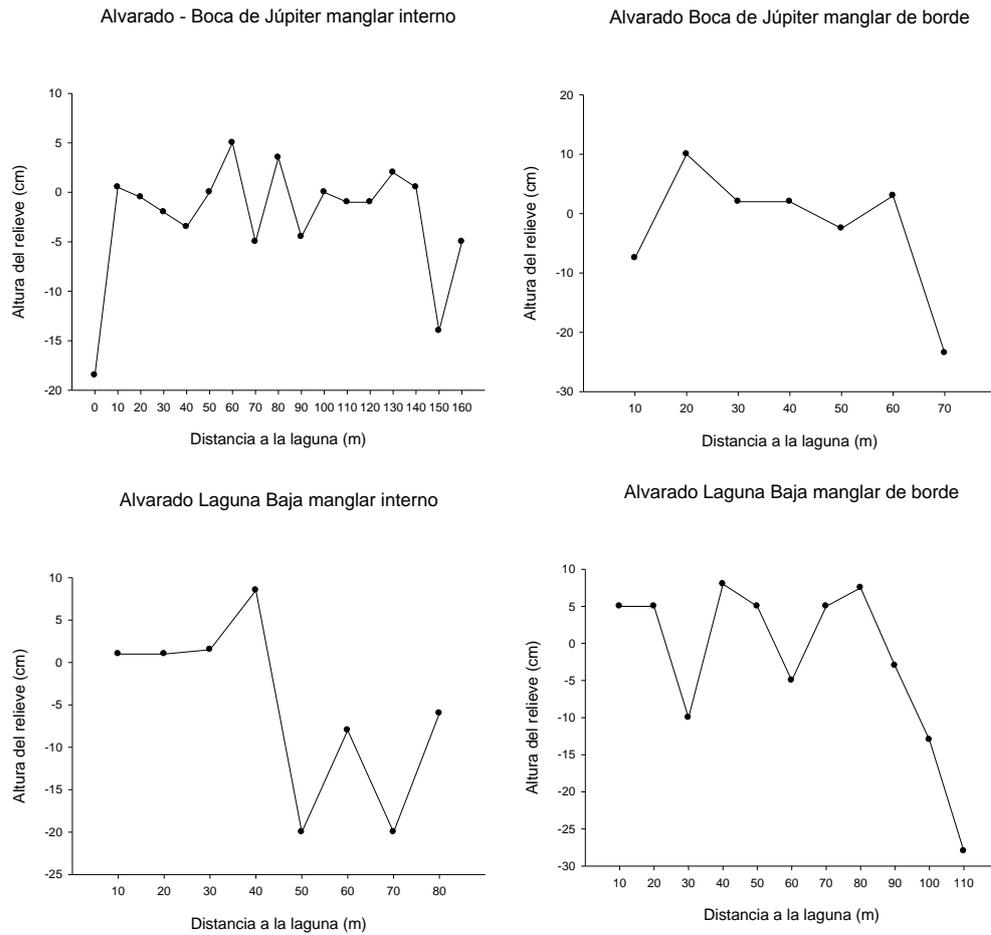


Figura 52. Localidad Laguna de Alvarado. Perfil del relieve del manglar interno y de borde en los sitio Boca de Júpiter y Laguna Baja.

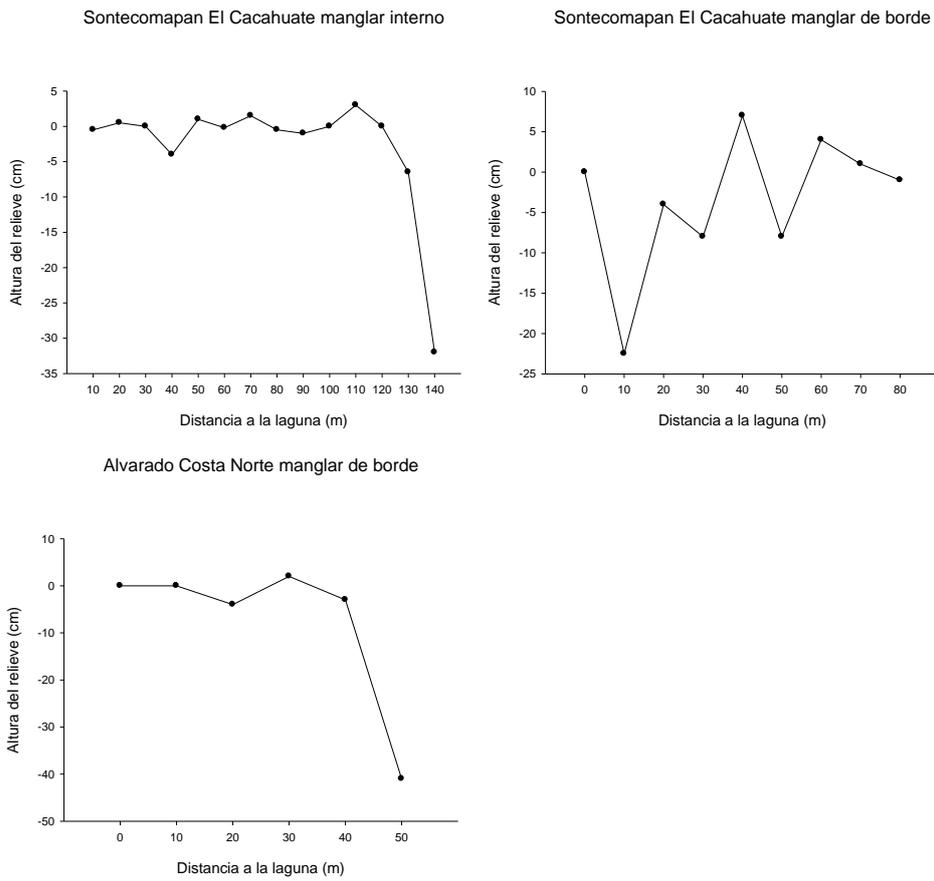


Figura 53. Localidad Laguna de Sontecomapan. Perfil del relieve del manglar interno y de borde en el sitio Cacahuate y del manglar de borde del sitio Costa Norte.

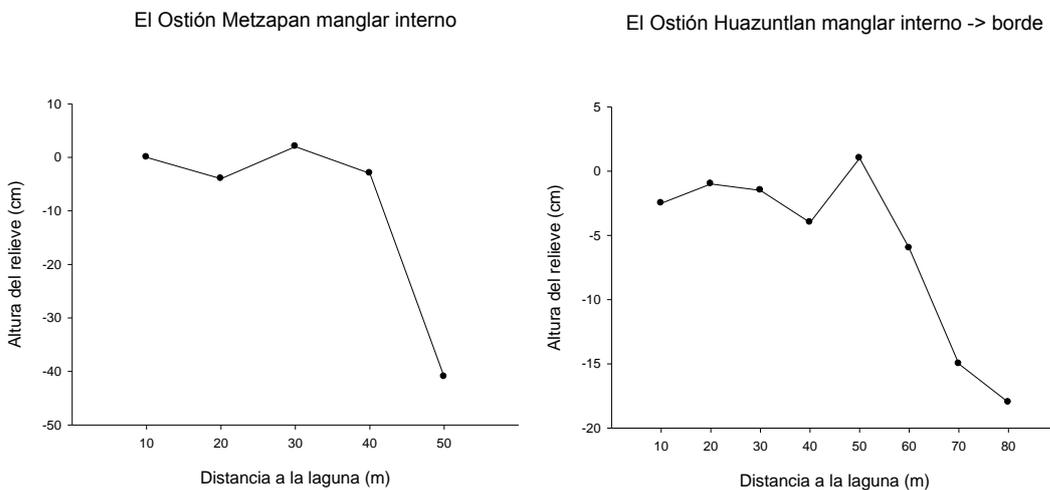


Figura 54. Localidad Laguna del Ostión. Perfil del relieve del manglar interno en el sitio Metzapan y del transecto que va desde las parcelas ubicadas en el manglar interno hasta el de borde en el sitio de Huazuntlán.

Resultados de los tubos de acreción localidad / geoforma

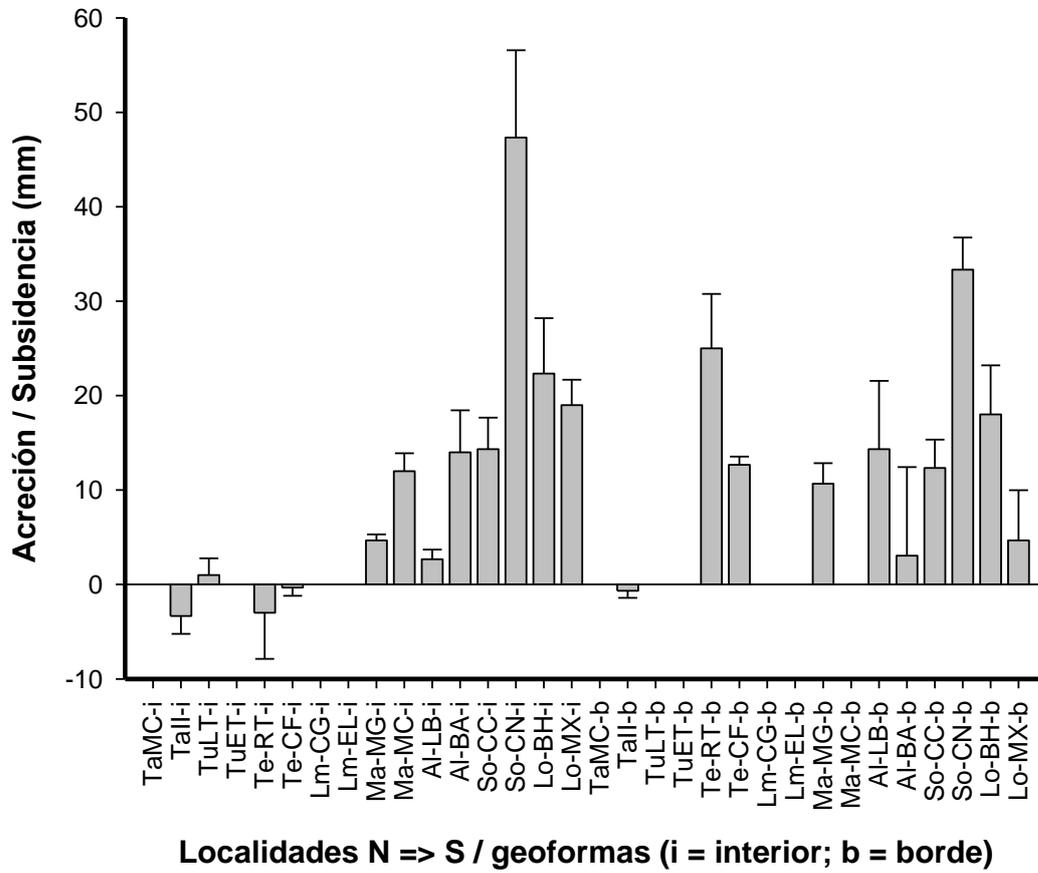
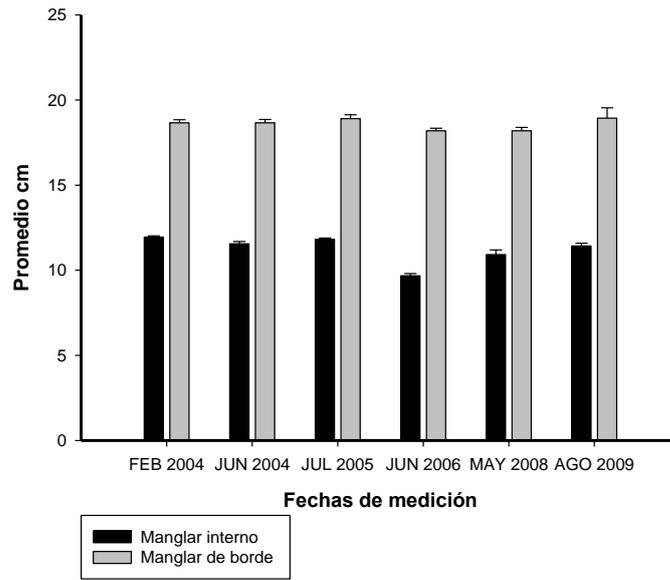


Figura 55. Cambio promedio en la elevación de la superficie en relación a los tubos de acreción para cada una de las localidades durante 2009-2010.

Sedimentation-Erosion-Table en La Mancha



Variación del crecimiento vertical La Mancha

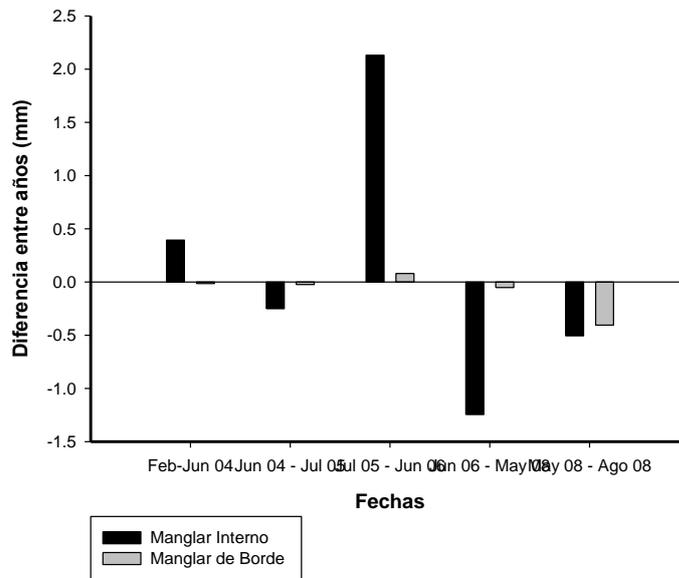
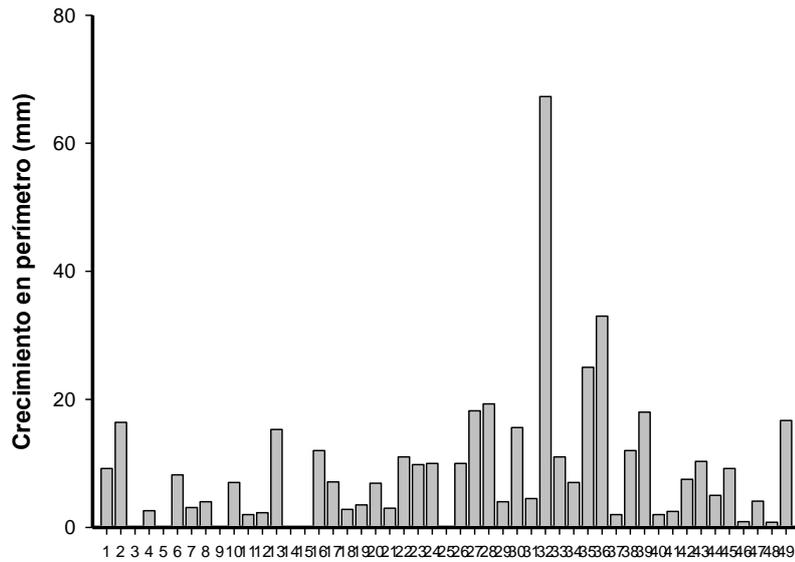


Figura 56. Se muestran los cambios en elevación de la superficie en los manglares interno y de borde en La Mancha.

Resultados del crecimiento en perímetro
de los árboles con cintas dendrométricas (entre 1 a 1.5 años)



**Árboles con cintas dendrométricas en las localidades del litoral norte de Veracruz
(diferente especie, diferente geofoma, diferente sitio, diferente localidad)**

Figura 57. Crecimiento en perímetro, medido con cintas dendrométricas, de los árboles ubicados en las diferentes localidades del litoral norte del estado de Veracruz.

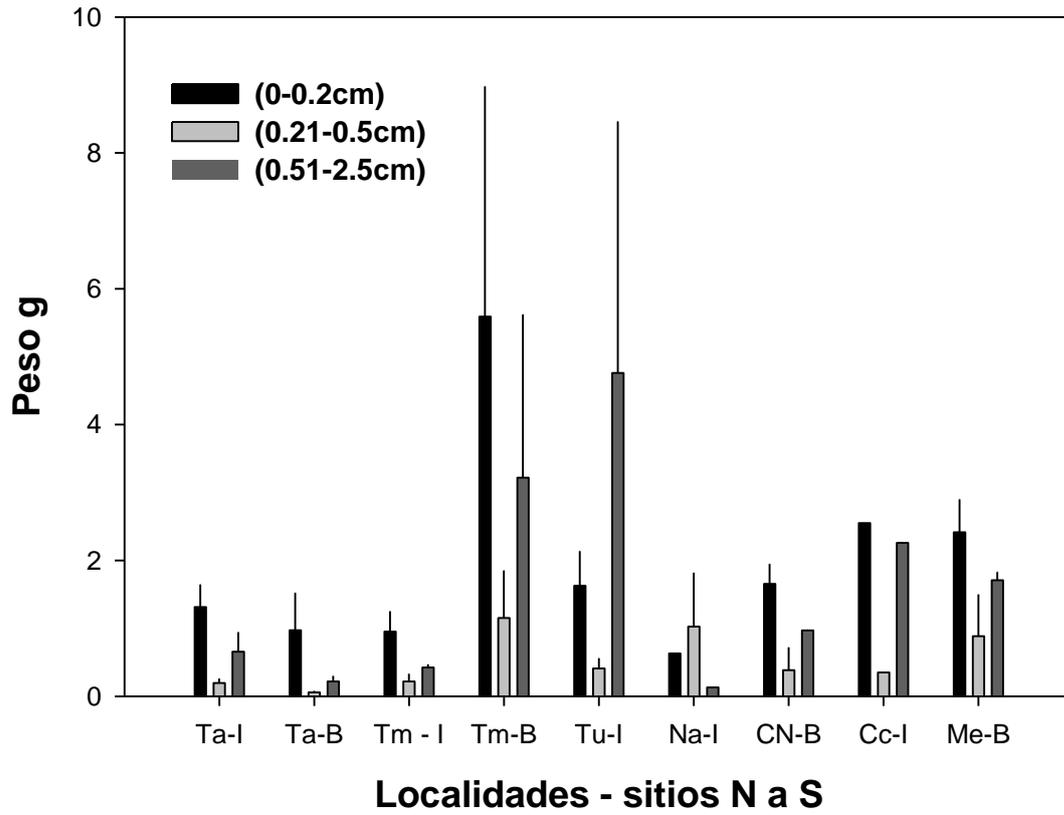


Figura 62. Distribución del peso total por componente del sistema radicular por localidad y sitio de estudio (Ta-I Tamiahua manglar interno, Ta-B Tamiahua manglar de borde, Tm-I Tampamachoco manglar interno, Tm-B Tampamachoco manglar de borde, Tu-I Tumilco manglar interno, Na-I Nautla manglar interno, CN-B Costa Norte manglar de borde, Cc-I Cacahuete manglar interno, Me-B Metzapan manglar de borde)

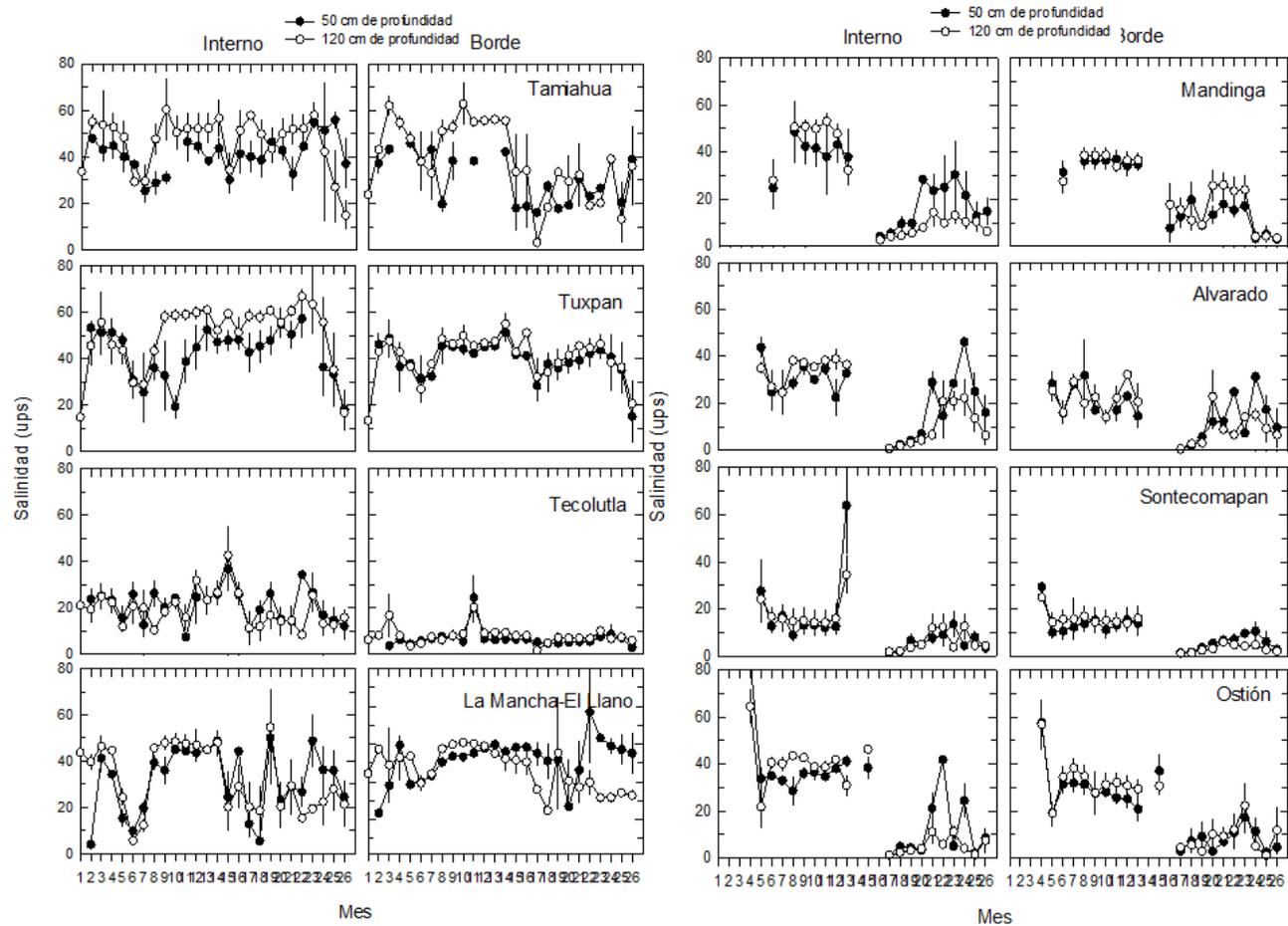


Figura 36. Variación mensual de la salinidad en el agua intersticial a diferentes profundidades (0.5 y 1.2 m) por tipo de manglar interno y de borde tanto en la región norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) como en la región sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión)

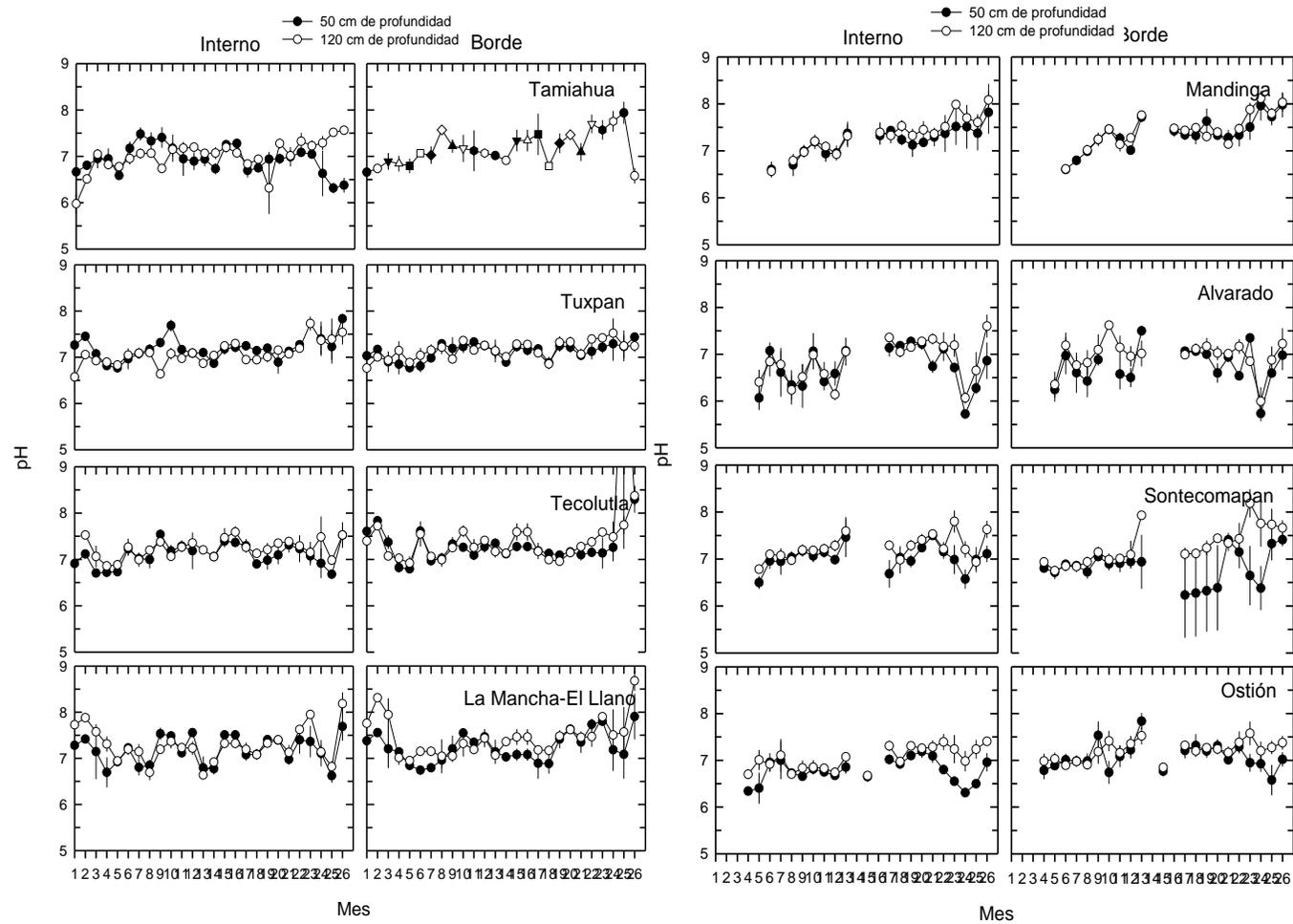


Figura 37. Variación mensual del pH en el agua intersticial a diferentes profundidades (0.5 y 1.2 m) por tipo de manglar interno y de borde tanto en la región norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) como en la región sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión)

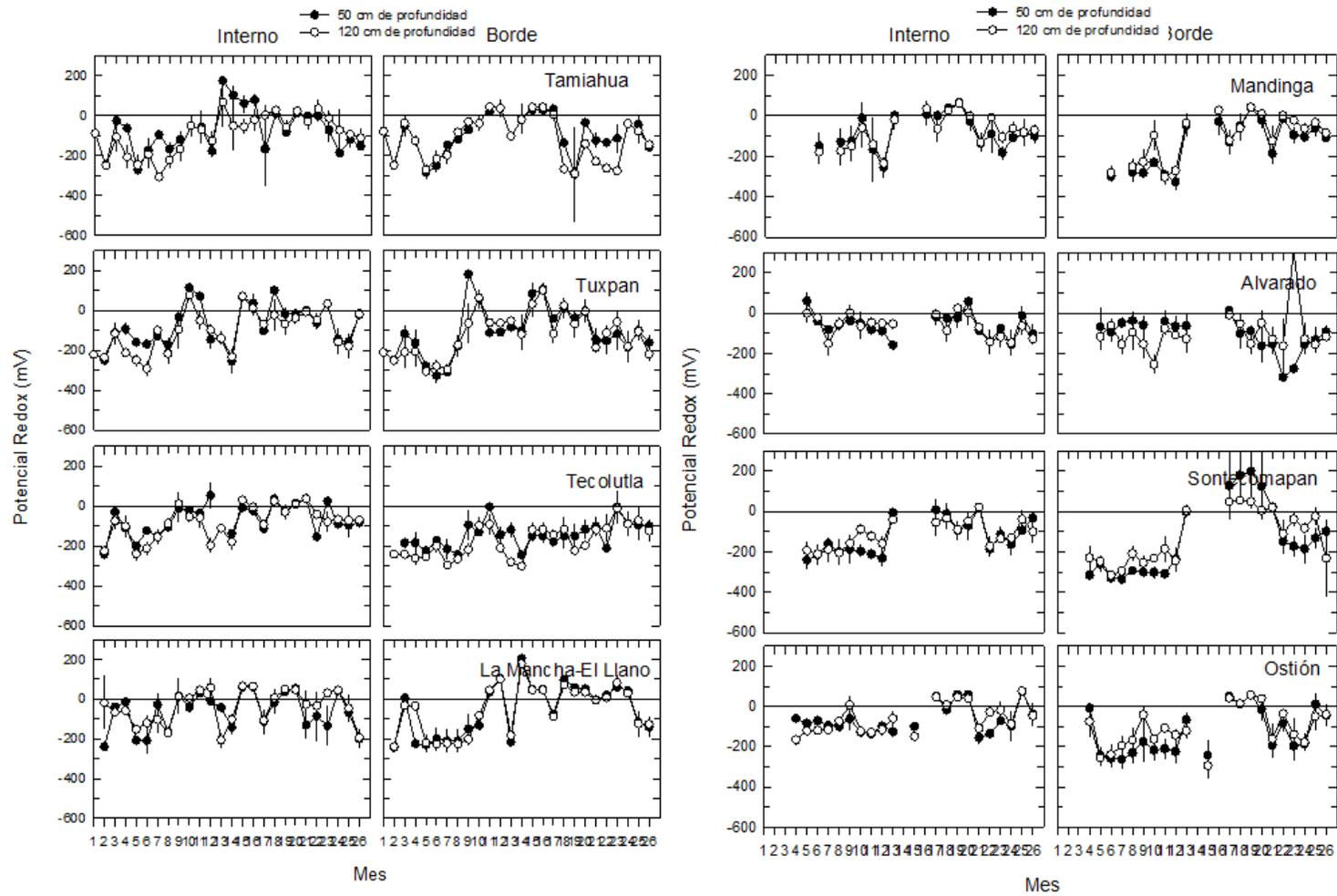


Figura 38. Variación mensual del Potencial REDOX en el agua intersticial a diferentes profundidades (0.5 y 1.2 m) por tipo de manglar interno y de borde tanto en la región norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) como en la región sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión)

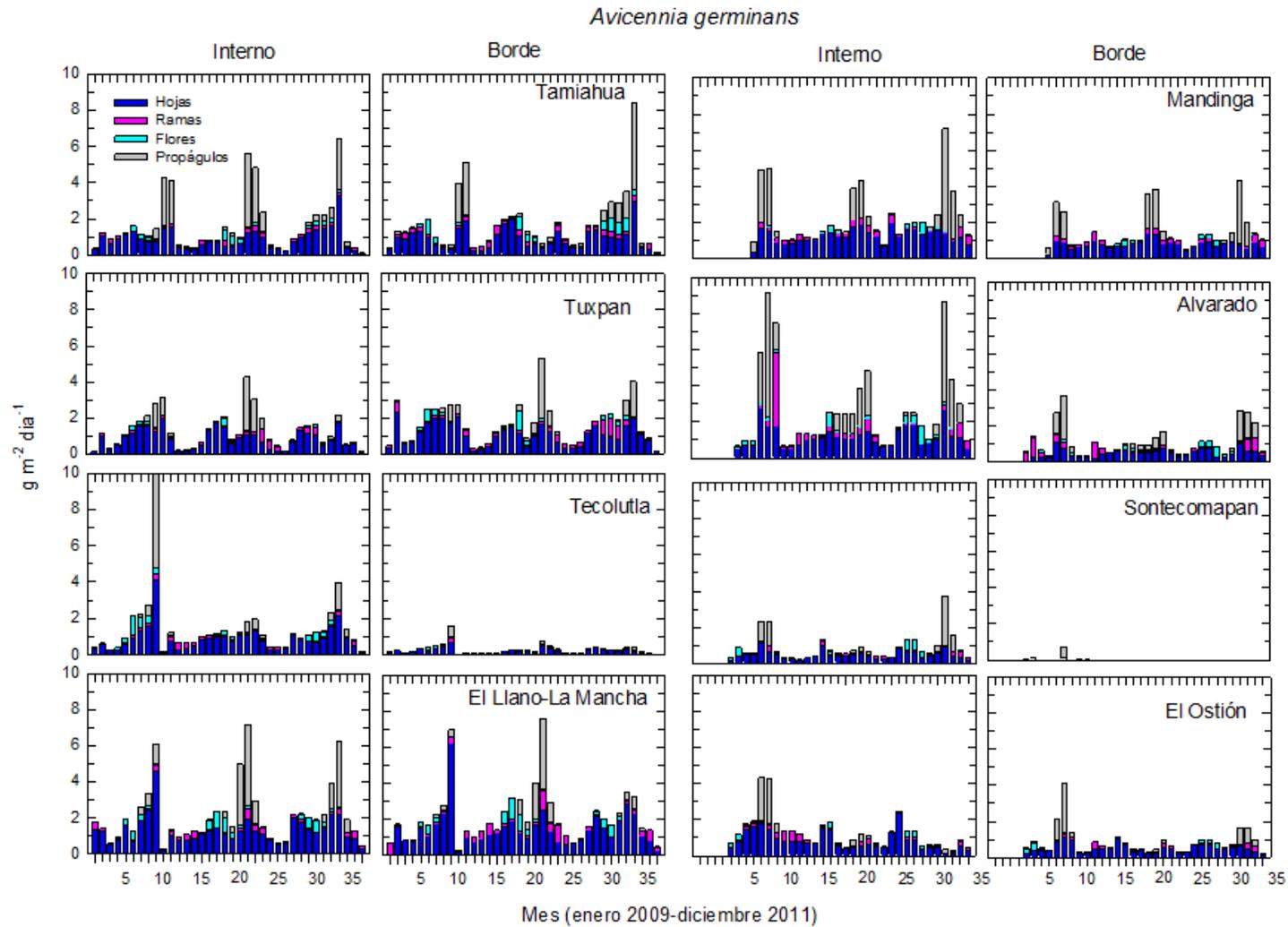


Figura 58. Caída de hojarasca (en $\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$) del mangle negro (*Avicennia germinans*) dividida en hojas (barras azules), ramas (barras rosas), flores (azul) y propágulos (gris) en la parte norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) y en la parte sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión).

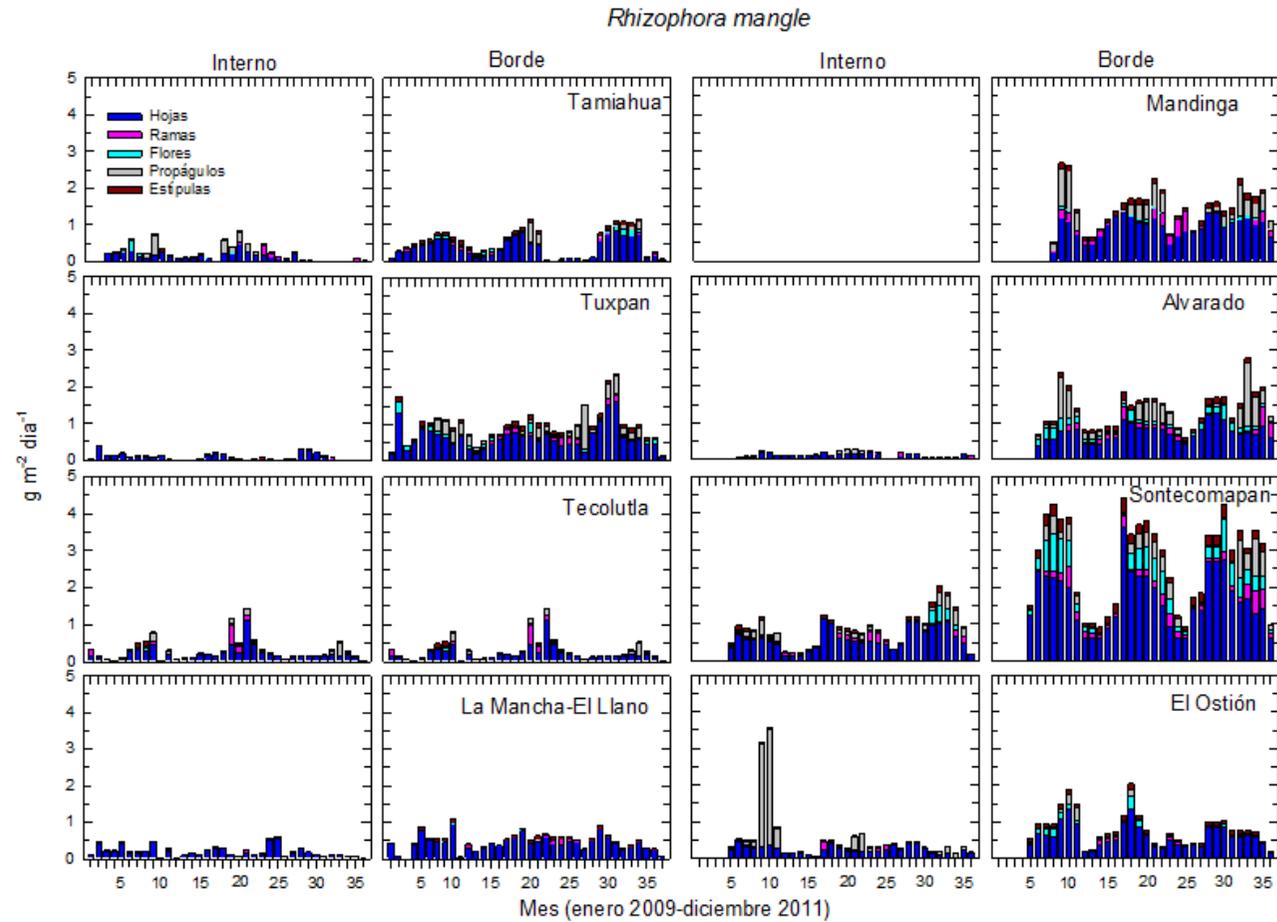


Figura 59. Caída de hojarasca (en $\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$) del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) dividida en hojas (barras azules), ramas (barras rosas), flores (azul) y propágulos (gris) en la parte norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) y en la parte sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión).

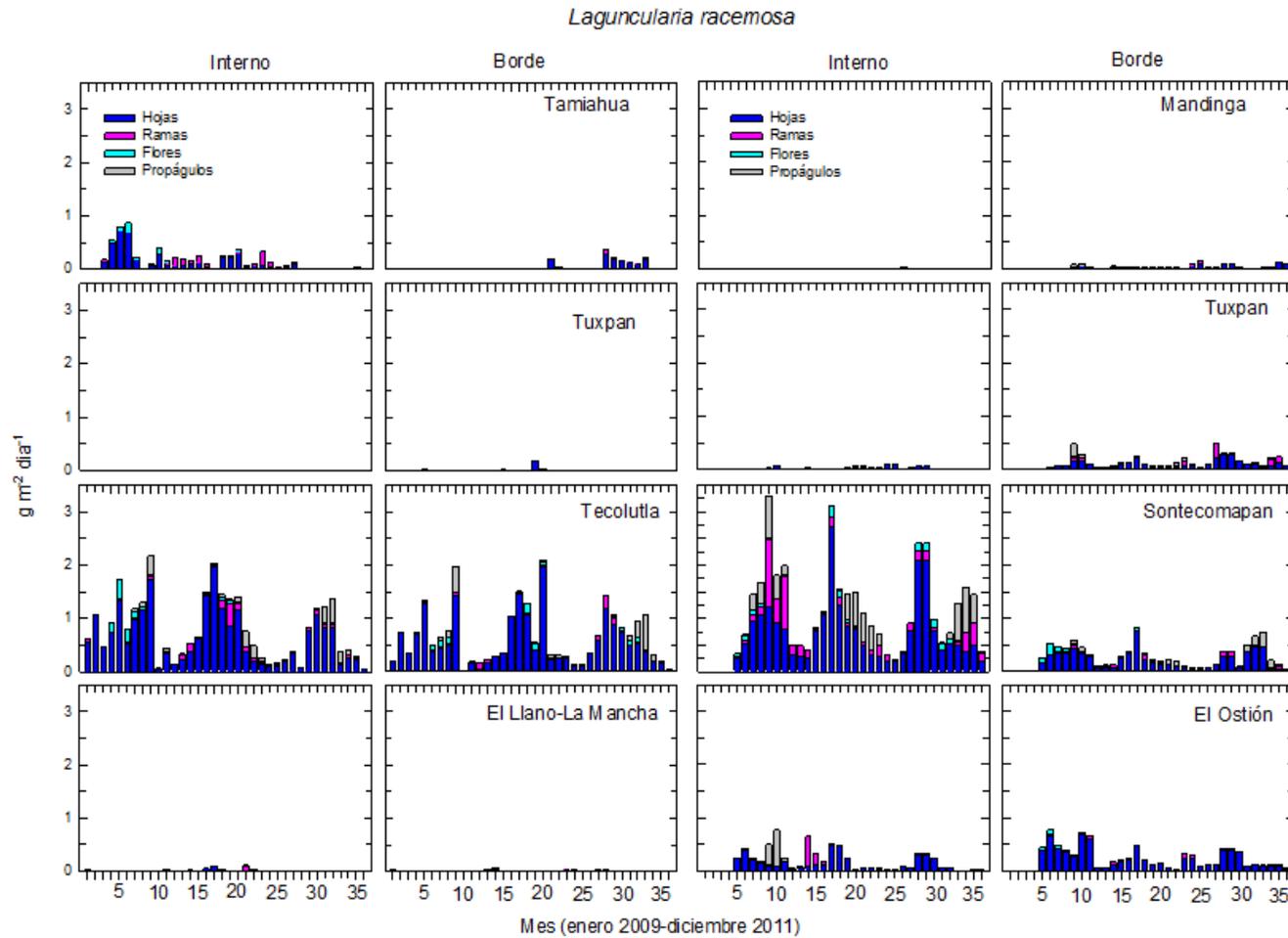


Figura 60. Caída de hojarasca (en $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) del mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) dividida en hojas (barras azules), ramas (barras rosas), flores (azul) y propágulos (gris) en la parte norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) y en la parte sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión).

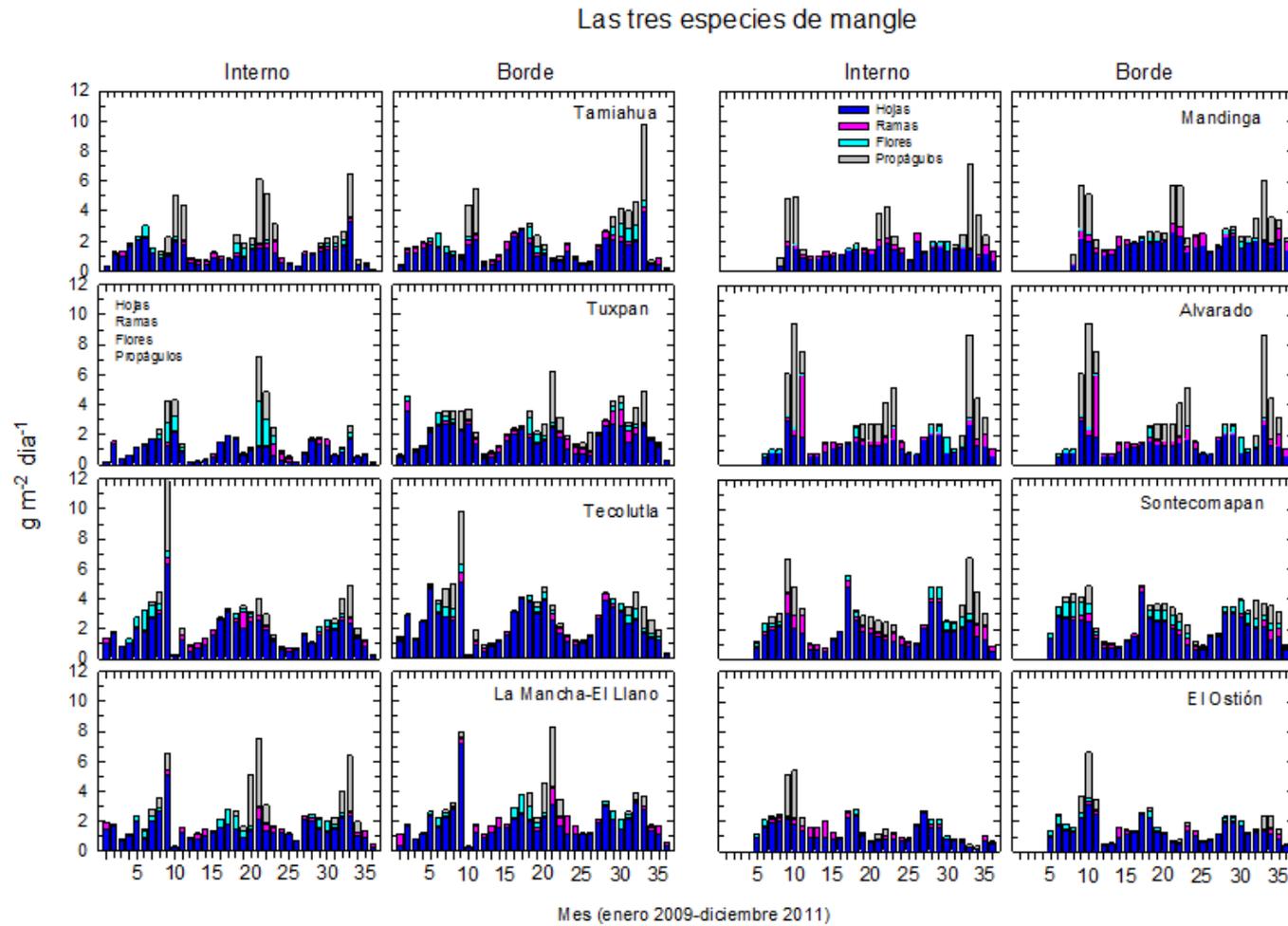


Figura 61. Caída de hojarasca (en $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) del mangle considerando las 3 especies (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) dividida en hojas (barras azules), ramas (barras rosas), flores (azul) y propágulos (gris) en la parte norte (Tamiahua a La Mancha-El Llano) y en la parte sur (de Mandinga hasta Laguna del Ostión).