

Informe final* del Proyecto MN001

Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco para la rehabilitación del manglar y de sus servicios ambientales - Segunda fase*

Responsable:	Dra. Ana Laura Lara Domínguez
Institución:	Instituto de Ecología, A.C.
Correo electrónico:	ana.lara@inecol.mx
Fecha de inicio:	15 de enero de 2016
Fecha de término:	19 de agosto de 2019
Principales resultados:	Informe final, Cartografía, Fotografías, Hojas de cálculo.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Lara Domínguez, A. L., López-Portillo, J.A., Rodríguez Rivera, M., Hernández Sánchez, M., Sáinz Hernández, E., Zaragoza Méndez, A.F., Martínez García, M.C., Corona Salto, A., Ureña Aranda, C.A. 2019. Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco para la rehabilitación del manglar y de sus servicios ambientales - Segunda fase. Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. MN001 Ciudad de México.

Resumen:

La laguna de Tampamachoco forma parte de los manglares del Río Tuxpan, pertenece a la Región Terrestre Prioritaria 103 (Laguna de Tamiahua) y al sitio Ramsar 1602 (Manglares y Humedales de Tuxpan). Entre las especies de manglar, las más abundantes son *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*. Se presentan zonas con mortalidad total o parcial de cobertura arbórea en alrededor de 30 ha dentro de la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico Adolfo López Mateos, que en total abarca 155 ha. Esta situación la atribuimos a la interrupción del flujo de agua de sur a norte y de norte a sur provocada por la construcción de tres terraplenes orientados de este a oeste. Al presente, se registra 100% de mortalidad en un área aproximada de 20 ha, pero nuestros datos de seguimiento indican que el área afectada aún se está extendiendo y actualmente abarca alrededor de 10 ha más. También hemos observado que a la muerte de los mangles sigue el colapso del substrato por la descomposición del sistema radicular y que la salinidad del substrato alcanza hasta 120 ups o partes por mil, rebasando con mucho la capacidad de sobrevivencia de cualquier especie vegetal. La primera fase de este proyecto se presentó en 2009 a la convocatoria para presentar propuestas para la rehabilitación o restauración de las funciones ecológicas de los humedales de México de la CONABIO y el proyecto fue aprobado para el periodo 2010 - 2013. El principal objetivo de este proyecto fue entender la dinámica del sistema deteriorado e iniciar la rehabilitación hidráulica para ayudar a la recuperación del área muerta y detener el deterioro crónico del manglar. Se llevaron a cabo diferentes acciones para establecer la línea base de las condiciones ambientales y conocer las causas de la mortandad masiva. Nuestra hipótesis sobre la interrupción del flujo superficial del agua por la presencia de los terraplenes resultó cierta, como lo demostraban los patrones de distribución de salinidad establecidos a partir de una red de 70 piezómetros emplazados en 400 ha. Desde 2011 se ha dado seguimiento mensual a la salinidad, potencial redox, pH y temperatura del agua intersticial y de superficie en 70 puntos fijos asociados a 12 transectos perpendiculares a la barra arenosa que cubren un área total de 300 ha. Asimismo, se establecieron 10 parcelas de 10m x 10m para el seguimiento de la estructura y productividad de los manglares en áreas de transición como conservadas. En junio de 2012 abrimos con un trascabo 16 canales transversales a los terraplenes, restableciendo el intercambio de agua superficial y subsuperficial y hemos documentado que la salinidad en el agua intersticial está descendiendo lentamente en las partes más afectadas. Como los terraplenes están limitando el libre tránsito de los propágulos de mangle durante la época de dispersión, ampliamos el ancho de los canales a 3m, el doble del ancho anterior. La ampliación de los canales se realizó con una máquina de orugas del 9 al 14 de marzo de 2014. Con esto hemos realizado ya el ajuste y rediseño correspondiente de estos canales, ya que algunos estaban azolvados o han sido rellenados por personal de mantenimiento de CFE. También se han excavado vados para que las camionetas de CFE puedan pasar sin necesidad de rellenarlos, pero es necesario vigilar el buen funcionamiento de los canales para que cumplan su función adecuadamente, lo que sólo será posible con seguimiento a largo plazo. La presente propuesta de extensión de este proyecto tiene como objetivo principal continuar el seguimiento de la restauración hidráulica, monitorear el lavado del suelo que hemos inducido después de la apertura de canales, y detectar las condiciones apropiadas para el

establecimiento exitoso de plántulas. Proponemos también realizar el monitoreo de la fauna y de otros indicadores biológicos durante el proceso de sucesión, así como el registro fenológico y fisonómico de la recuperación de los manglares con la ayuda de fotografías hemisféricas. Parte de estas modificaciones (entre otras) al proyecto previo responden positivamente a las sugerencias y recomendaciones realizadas por la CONABIO en el oficio DTEP/2441/13 del 11 de diciembre de 2013.

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



Informe Final del Proyecto

Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco para la rehabilitación del manglar y de sus servicios ambientales. Segunda Fase MN001

Ana Laura Lara Domínguez, Jorge López-Portillo, Moisés Rodríguez Rivera, Mauricio Hernández Sánchez, Eduardo Sáinz Hernández, Ángel Francisco Zaragoza Méndez, Ma. del Carmen Martínez García, Alejandro Corona Salto, Cinthya A. Ureña Aranda

Enero, 2018

Tabla de contenido

GENERALIDADES	3
RESUMEN EJECUTIVO	6
ANTECEDENTES	7
OBJETIVO GENERAL	8
<i>Objetivos particulares</i>	8
ÁREA DE ESTUDIO	9
MÉTODOS	9
RESULTADOS	17
<i>Elevación y subsidencia de sedimentos</i>	18
<i>Descripción del perfil de suelo</i>	18
<i>Nivel del agua</i>	22
<i>Salinidad</i>	23
<i>Potencial redox</i>	24
<i>pH</i>	24
<i>Temperatura</i>	25
<i>Hidroperiodo</i>	25
<i>Precipitación y temperatura del aire</i>	26
<i>Vegetación</i>	26
<i>Hojarasca</i>	27
<i>Monitoreo de aves</i>	28
Conclusiones	29
REFERENCIAS	30

GENERALIDADES

En el presente informe final se incluyen los resultados obtenidos durante el periodo de desarrollo del proyecto de acuerdo con la programación convenida con la CONABIO. Esto con el propósito de presentar de manera integral los resultados obtenidos a lo largo de la ejecución del Proyecto destacando las tendencias de los parámetros ambientales y de los indicadores de cambio a los que se está dando seguimiento después de la excavación de los pasos de agua o zanjas que atraviesan los terraplenes y restablecen el flujo sur-norte-sur y el proceso la rehabilitación natural de los individuos.

AVANCES DEL PROYECTO EN LA ETAPA

Se cumplieron las metas planteadas para este periodo del proyecto realizando las siguientes actividades:

- a. Se realizó la toma mensual de mediciones de los parámetros del agua intersticial, salinidad, potencial redox, pH y temperatura, en los diferentes niveles (superficie, fondo, inundación y raíz), en cada uno de los piezómetros distribuidos en las diez parcelas, así como también en el agua de inundación próxima a la parcela, en la Laguna de Tampamachoco. Se presentan los resultados de enero de 2016 a diciembre de 2017.
- b. Se presentan las mediciones del nivel de acreción-subsidencia y se incluyen los resultados obtenidos entre 2016 y diciembre de 2017.
- c. Se presentan los resultados del Ntotal, Ptotal contenido de materia orgánica de los núcleos de suelo asociados a cada parcela.
- d. Se muestran los resultados de la productividad de hojarasca y sus componentes estructurales del manglar en las 10 parcelas implementadas (5 en áreas deterioradas y 5 en áreas conservadas) desde enero de 2016 a diciembre de 2017.
- e. Se presentan los resultados del monitoreo de las plántulas de manglar en los cuadrantes de 1x1 m ubicados en cada una de las esquinas de cada parcela. El conteo de estas en el primer censo para caracterizar la comunidad, solo se encontraron 12 plántulas 9 de *Avicennia germinans* y 3 de *Rhizophora mangle*. Por lo que el tamaño de muestra no es representativo para que sea un indicador del proceso de desarrollo y colonización del manglar.
- f. Se muestran los resultados de la regeneración natural en los 40 montículos con el suelo propio del área y distribuidos en las localidades próximas a los terraplenes para evaluar.
- g. Se continuó con el monitoreo mensual de aves en el área conservada y con manglares muertos.
- h. Se registran las variaciones en temperatura ambiental y precipitación de septiembre 2014 a diciembre de 2017 en una estación meteorológica ubicada en la Terminal Portuaria Tuxpan.

LOGRO DE METAS RESPECTO DE METAS COMPROMETIDAS

Se lograron el 100% de las metas de campo en este periodo. Se considera que se alcanzó el 86 % de los indicadores planeados para esta etapa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Indicadores de avance de las actividades que se desarrollaron en esta etapa del proyecto.

Actividad/Mes	7	8	9	10	11	12
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año 2						
Base de datos de la evaluación de parámetros bioquímicos					4.7	
Base de datos de la evaluación de caída de hojarasca					7.3	
Base de datos de la evaluación de la regeneración natural						4.3
Mapa de microtopografía						
Análisis de teledetección						4.9
Avance físico-financiero						2.1
Informe parcial						
Informe final						4.7
Archivo con base de datos integrada						1.1
Memoria fotográfica integrada						0.5

El proyecto fue ejecutado en su totalidad alcanzando el 98.4% de los objetivos y metas planteadas, ya que no fue posible llevar a cabo una actualización del levantamiento topográfico del área de estudio, debido a los costos.

LOGRO DE OBJETIVOS RESPECTO A LOS COMPROMISOS

El trabajo realizado en este periodo está acorde a los objetivos planteados en el proyecto.

GRUPO DE TRABAJO

Responsable Técnico: Dra. Ana Laura Lara Domínguez

Personal Participante: Dr. Jorge López-Portillo, Fis. Eduardo Sáinz Hernández, Biol. Moisés Rodríguez Rivera, M. en C. Mauricio Hernández Sánchez, Biol. Ma. del Carmen Martínez García, M. en C. Alejandro Corona Salto, Dra. Cinthya A. Ureña Aranda.

Estudiante de Maestría: Ing. Amb. Ángel F. Zaragoza Méndez

Estudiante de Licenciatura: Sabel Prieto Bolán estudiante de la Universidad Veracruzana, Laura Katherine Diaz Sepulveda estudiante de la Universidad El Bosque de Bogotá y Shirley Andrea Gil Gutierrez estudiante de la Universidad El Bosque de Bogotá.

Residencias Profesionales de los Pasantes en Ingeniería Ambiental Citlali Cruz Mar, Víctor Manuel García Casados Gerardo Pastor Lara Pérez, Cesar Iván Hernández Juárez, del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache (agosto 2016 – abril 2017).

DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES EN LA ETAPA

Debido a la escasez de plántulas en las parcelas, se decidió montar un experimento que consistió en la construcción de montículos de suelo para disminuir el tirante del agua y favorecer el establecimiento de los propágulos y plántulas.

ACCIONES DERIVADAS DE LAS DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES

La construcción de montículos como un diseño experimental en el área muerta no estaba considerada en el proyecto.

OBSERVACIONES RELEVANTES SOBRE EL PRESUPUESTO AUTORIZADO

Durante esta etapa no se realizaron cambios en el presupuesto autorizado.

PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA ETAPA

Se presentan los resultados comprometidos en esta cuarta etapa del proyecto:

- Variación mensual de los parámetros fisicoquímicos del agua de inundación e intersticial en 30 piezómetros ubicados en las diez parcelas.
- Se incluyen los resultados de los valores de salinidad del agua de inundación, así como a nivel de raíz en las diez parcelas con el propósito de tener un seguimiento detallado de las diferencias ambientales entre ambos tipos de manglar.
- Se presentan resultados de elevación y subsidencia de los sedimentos registrados en 40 tubos de acreción ubicados en las diez parcelas.
- Se presenta la descripción del perfil de los suelos colectados
- Se presentan los resultados de Ptotal, Ntotal y materia orgánica del suelo asociado a cada parcela.
- Se presentan los resultados de enero a diciembre 2017 de la variación del nivel del agua subterránea de los cuatro aparatos de registro continuo ubicados en la zona de transición.
- Se presentan los resultados mensuales de producción de cada uno de los componentes de la hojarasca asociada a cada parcela.
- Se presentan los resultados de los censos de aves en las áreas de manglar tanto perturbado como conservado.
- Se presentan las variaciones en temperatura ambiental y precipitación de septiembre 2014 a diciembre 2017.

RESUMEN EJECUTIVO

En este informe final se incluyen los resultados de las actividades realizadas de enero de 2016 a diciembre de 2017. Asimismo, se presentan los resultados de las mediciones mensuales del nivel de agua superficial/freática, salinidad, potencial redox, pH y temperatura tomados en 30 piezómetros, los registros de acreción y subsidencia del nivel del suelo de los manglares a través de los 40 tubos de acreción, ambos distribuidos en las 10 parcelas de monitoreo; los resultados del establecimiento de propágulos y crecimiento de plántulas de octubre de 2016 a diciembre de 2017, puesto que en los censos de propágulos de manglar en subparcelas de 1 m x 1 m solo se registraron 12 individuos. Finalmente, se reportan los cambios en la caída de hojarasca durante el mismo periodo en 10 parcelas fijas de 20m x 20m. El nivel de acreción en los sitios conservados fluctúa entre 3.33 cm y 1.39 cm en 2016 y 2017 respectivamente, mientras que en los sitios deteriorados en 2016 se observa -1.97 cm de subsidencia y en 2017 se observa una acreción pequeña de 0.68 cm que podría ser resultado del mantenimiento y ampliación a un promedio de 12 m de ancho de los canales transversales en los terraplenes (noviembre 2015).

Los recursos del suelo en las áreas deterioradas y conservadas en general son más altos en el manglar deteriorado que en el conservado. En las parcelas con manglar deteriorado, la materia orgánica va de 16.05% a 18.42%, el N_{total} varía 0.66% a 0.67% y el P_{total} de 0.019% a 0.020%; mientras que en las parcelas con manglar conservado varía de 14.10% a 16.43% de materia orgánica, 0.48% a 0.49% de N_{total} y 0.015 a 0.020 de P_{total} . Es probable que este patrón se deba a la alteración del hidropereodo al presentar mayor tiempo de inundación en el manglar deteriorado que en el conservado. Con estos resultados se ha alcanzado el 98.4 % de los indicadores comprometidos para el proyecto.

Los avances del proyecto son significativos y conducentes a la rehabilitación hidráulica del sistema. Con el apoyo del Proyecto HH025, se han logrado avances importantes en el entendimiento de la dinámica del manglar ubicado en la Laguna de Tampamachoco. Se identificaron las causas que originaron su deterioro y se han establecido acciones que han permitido la recuperación parcial del sistema. El enfoque ha sido facilitar la rehabilitación a través de una intervención clave (el restablecimiento del flujo de agua interrumpido por barreras físicas) sin sembrar un solo mangle. Sin embargo, seguir este proceso toma el tiempo y la constancia que sólo es posible con estudios de largo plazo. Con el Proyecto "Mangrove Restoration in Key Mexican Coastal Lagoons at the Gulf of Mexico, November 21, 2014 - October 31, 2015 auspiciado por Gulf of Mexico Foundation, Mexico Chapter, A.C. se ampliaron los canales en promedio de 4 m a 12.5 m, con el propósito de permitir la dispersión de los propágulos que son generados en las áreas de manglar conservado.

Con el monitoreo mensual de la salinidad en el agua intersticial puede afirmarse que la salinidad está descendiendo lentamente en las partes más afectadas, pero que en ocasiones la evaporación supera el aporte de agua dulce que pasa por los canales. En esta segunda etapa del proyecto, se están registrando los indicadores de éxito como son los cambios en la productividad, la supervivencia de los individuos de mangle, el reclutamiento de nuevos individuos tanto de manglar como de aves, que usan el manglar en todo o parte de su ciclo de vida.

ANTECEDENTES

En las últimas décadas se están perdiendo áreas de manglar de forma continua debido a diferentes actividades humanas directas e indirectas. Esto representa la pérdida de importantes servicios ambientales (<http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares/manglares.html>).

Los esfuerzos de restauración de manglar se han enfocado principalmente en la creación de viveros y la plantación de los individuos producidos, pero sin el éxito esperado. Un proyecto de restauración requiere del análisis cuidadoso en el tiempo y el espacio de diversos factores antes de intentar la restauración (Bosire *et al.*, 2008; Lewis, 2009). La primera actividad es entender cómo funcionaba el ecosistema antes de ser perturbado para determinar la naturaleza del tensor ambiental que está modificando al ecosistema. Los ciclos de marea, la variabilidad del nivel del agua y la geomorfología son los principales factores que regulan las funciones de los ecosistemas de manglar (Lee *et al.*, 2006; Twilley y Rivera Monroy, 2009).

En los manglares asociados a la Laguna de Tampamachoco hay aproximadamente 30 ha donde se ha perdido y continúa perdiendo cobertura de los árboles, debido a la interrupción del flujo superficial y subsuperficial del agua desde el año 1990. Esta interrupción del flujo de agua es una consecuencia de la construcción de tres terraplenes orientados de este a oeste en donde se ubican las torres de alta tensión, aislando áreas donde la evaporación superó al régimen de precipitación e induciendo la muerte de los manglares por la hipersalinización, la eliminación de este tensor permitirá la recuperación paulatina del sistema. En Florida la construcción de un puente bloqueó parcialmente la entrada de mareas a una zona de manglares, al reducirse la fuerza de las mareas en la parte terminal del sistema hidrológico, las venas de marea fueron invadidas por los propios mangles, limitando el flujo de agua hacia los manglares del interior, lo que desencadenó un proceso de sucesión (Kimball 1980). Para resolver parcialmente el daño ocasionado, se procedió a rehabilitar los canales de marea para la recuperación de los manglares con muy buenos resultados (Lewis 1982). Otros ejemplos exitosos se documentan para la Ciénaga de Santa Martha en Colombia (Rivera-Monroy *et al.* 2006) y hay varios casos de éxito recientes aún no publicados dirigidos por los doctores Francisco Flores-Verdugo, Claudia Agraz-Hernández, Cristian Tovilla, Arturo Zaldívar y Jorge Herrera-Silveira en diferentes partes de la República Mexicana, lo que alienta este tipo de actividades como estrategia para recuperar cobertura de manglar.

Es en 2007 que se inicia un programa de evaluación de la mortandad de los bosques de manglar, a través de una tesis de licenciatura de la Universidad Veracruzana (campus Tuxpan), que muestran los primeros datos (Bartolo Mateos 2009, López-Portillo *et al.* 2009). Posteriormente, la CONABIO aprueba el Proyecto Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco para la rehabilitación del manglar y de sus servicios ambientales con el que se establecen las bases científicas y la línea base ambiental para conocer las causas del deterioro y muerte masiva del manglar asociado a la Laguna de Tampamachoco y definir la estrategia de rehabilitación hidráulica más apropiada. Durante el desarrollo de este proyecto, se ha encontrado en la Laguna de Tampamachoco evidencias de que el proceso de deterioro abarca servicios ambientales muy importantes como la nitrificación bacteriana. Utilizando un gradiente de degradación que comprende desde la parte alta de la barra

hasta el margen de la laguna frente a la termoeléctrica, Vovides et al. (2011) documentaron la pérdida gradual de fijación del nitrógeno, el aumento en la volatilización de amonio y un aumento en la salinidad, una circulación deficiente y el abatimiento del nivel de agua. En junio de 2012 abrimos 16 canales de pequeñas dimensiones transversales a los terraplens y éstos han sido efectivos para el restablecimiento de las condiciones hidrológicas adecuadas para los manglares tipo cuenca o matorral. Desde el inicio del proyecto, en 2011, estamos documentando la tendencia mensual de la salinidad en el agua intersticial y hemos observado que a partir de la apertura de los canales está descendiendo muy gradualmente en las partes más afectadas (López-Portillo et al., 2013)

Estos resultados después de la excavación de los canales sugieren que el deterioro se puede revertir para las 30 hectáreas de manglar. Sin embargo, es necesario continuar con el monitoreo de las tendencias de los parámetros ambientales y de recuperación del manglar a través de la productividad (caída de hojarasca) y fenología por el seguimiento en parcelas fijas de la densidad, altura y área basal de los mangles. Esto permitirá detectar cambios significativos en los parámetros físicos ambientales y biológicos para tomar acciones correctivas si es necesario. Por ejemplo, hemos ampliado recientemente los canales para aumentar el flujo de agua especialmente en época de secas o en la canícula de agosto, que es cuando aún detectamos diferencias entre las vertientes sur y norte del terraplén central. Adicionalmente, creemos que la mayor amplitud de los canales aumentará la cantidad de propágulos que se dispersan desde los manglares bien conservados a las áreas perturbadas, aumentando la probabilidad de su establecimiento.

El propósito de esta segunda etapa sería documentar la rehabilitación del sistema en cuanto a los cambios en las variables ambientales, la supervivencia de individuos de mangle ubicados en las zonas con daño crónico, el reclutamiento de individuos de mangle a través de plántulas, y la ocupación del espacio por otras especies, como las aves, que usan el manglar en todo o parte de su ciclo de vida.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo es continuar con el monitoreo de la restauración hidráulica del sistema en términos de los cambios en el agua intersticial, la productividad y fenología de los mangles. Este objetivo involucra garantizar la permanencia de los canales para permitir la recuperación de un sistema deteriorado de manglar, así como iniciar el monitoreo de fauna y otros indicadores biológicos de proceso de sucesión.

Objetivos particulares

- Monitorear el sistema en términos de la variación del hidroperiodo y el flujo de agua superficial y subsuperficial del área de estudio
- Mantener y rediseñar los canales para evitar su azolve y garantizar su permanencia, así como evaluar la efectividad de estas obras hidráulicas, a través de establecimiento natural y sobrevivencia del manglar.

- Monitorear los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial (salinidad, pH, conductividad, potencial redox y temperatura).
- Implementar las parcelas fijas de 20 m x 20 m y dar seguimiento a la densidad, altura y área basal de los individuos de mangles.
- Monitorear la diversidad de la fauna de aves como indicador de la restauración del manglar determinando el uso del hábitat por las especies y su estacionalidad.
- Colaborar con el equipo humano de CONABIO para la obtención de datos biofísicos a partir de fotografías hemisféricas, contribuyendo así a ensayar nuevas técnicas de percepción remota.
- Con los datos obtenidos a partir de las fotografías hemisféricas y en colaboración con el equipo de CONABIO, se realizarán las estimaciones de índice de área foliar, estructura del dosel, índices de radiación solar y niveles de radiación bajo dosel y así construir series de tiempo de estimaciones de índice foliar para documentar la evolución de la rehabilitación del sitio.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica geográficamente en el manglar asociado a la Laguna de Tampamachoco localizados en las coordenadas 21°01'42.7" a 20°59'26.0"N y 97°20'41.2" a 97°20'12.5" W (Fig. 1). Este manglar se desarrolla sobre planicies lodosas (en un substrato arcilloso) dominados por *Avicennia germinans*, existiendo grandes áreas de bosques monoespecífico. El área forma parte del sitio Ramsar 1602 (Manglares y Humedales de Tuxpan), pertenece a la Región Terrestre Prioritaria 103 (Laguna de Tamiahua) y es parte de la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico Adolfo López Mateos de 115.5 ha que colinda al norte con el ejido de Barra Galindo y al este con la Laguna de Tampamachoco (Basáñez Muñoz 2005).

MÉTODOS

Elevación y subsidencia de sedimentos

Los registros de acreción y reducción del nivel del suelo de los manglares se realizarán a través de los tubos de acreción siguiendo la metodología propuesta por Gilman et al. (2007), que consiste en determinar los cambios de elevación mediante estacas ubicadas en cada una de las cuatro esquinas de la parcela de 20mx20m. El monitoreo mensual de los tubos de acreción permitirá detectar los cambios en el nivel del suelo.

Recursos del suelo

Se colectaron muestras de sedimentos en cada parcela mediante el uso de tubos de PVC sanitario reforzado de 4 pulgadas de diámetro y 40 cm de largo que se introdujeron en los suelos de estudio hasta 30 cm de profundidad usando un mazo de goma de 4 libras de peso. Para facilitar la inserción

de los tubos en el suelo, se afilo el extremo a introducir y para una cómoda extracción se implementó una agarradera haciendo dos agujeros diametralmente opuestos, a 2 cm del bordo superior, donde se introdujo una varilla.

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

Descripción del perfil de suelo

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

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

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

La determinación de C y N se llevó a cabo a través de un multi-analizador elemental Marca Leco Co. Modelo Truspec CN del Instituto de Ecología, A.C. El sistema se basa en el método de combustión de Dumas. La incineración de la muestra ocurre en un horno primario a 950° C en un ambiente libre de gas atmosférico y alimentado con oxígeno puro para una rápida combustión. Los productos de combustión se determinan mediante el paso de los gases a través de detectores infrarrojos para carbono y de un detector de conductividad térmica para nitrógeno. El rango de detección es: carbono 0.005% a 50% y nitrógeno 0.008% a 100% con una precisión de 0.5% para ambos elementos

y una resolución de 0.0001. El equipo utiliza como gas acarreador Helio de alta pureza 99.99% a 35psi +/- 10% y para la combustión Oxígeno a 99.99% a 35psi +/- 10% [http://www.lecouk.com/PDF/TruSpec%20\(209-150-001\).pdf](http://www.lecouk.com/PDF/TruSpec%20(209-150-001).pdf). Para la conversión de carbono a materia orgánica se utilizará el factor de 1.724 de Vans de Benmelen. Este factor resulta de la suposición de que la materia orgánica contiene un 58% de carbono (Aguilar 1988).

Clima

Se obtendrán los registros de clima de la estación meteorológica más cercana con datos históricos de precipitación y temperatura del aire, con los cuales se elaborarán climogramas que permitan identificar las diferentes condiciones que se observan en la zona de estudio. Además, en julio de 2014, se colocó en el Predio La Guadalupana 2014 (del otro lado del río) una estación meteorológica inalámbrica Vantage Pro 2, marca Davis modelo 6162 ubicada a Latitud: [20 57'21" N] y Longitud: [97 19'28" W]). Esta monitorea registros continuos de temperatura, precipitación y presión atmosférica entre otros. La presión atmosférica y la precipitación son muy importantes para el hidropereodo y por tanto constituye una información complementaria para los registros de los levelloggers.

Hidropereodo

Para caracterizar los flujos de las aguas superficiales y subsuperficiales (nivel freático) así como las propiedades físicas y químicas del agua y de los sedimentos, se establecieron 3 piezómetros asociados a cada una de las 10 parcelas de 20m x 20m. En el muestreo mensual del agua intersticial, se midió el nivel del agua dentro del piezómetro y se colectó agua tanto de la superficie como del fondo (10 cm por arriba del nivel máximo de profundidad del tubo), la profundidad de los tubos de PVC depende de los valores mínimos del nivel de manto freático, que puede tener un máximo de 2 metros por debajo del nivel del suelo. Los piezómetros fueron hechos con tubos de PVC de 3 pulgadas de ancho (8 cm) y 3 m de longitud con ranuras cada 5 cm para permitir el flujo horizontal del agua del manto freático. Cada tubo fue enterrado 2 m por debajo del nivel del suelo por tanto queda un metro por arriba del nivel del suelo para evitar la entrada de agua superficial.

Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial tal como salinidad, pH, potencial redox y temperatura se realizaron con un equipo multiparamétrico Ultrameter II modelo 6P (Myron L Company, Carlsbad, California, EUA). El muestreo mensual se efectuó en 30 piezómetros distribuidos tres por parcela, de enero a noviembre. En cada punto se tomaron muestras de agua a diferentes niveles: superficie, fondo, nivel de inundación y a nivel de las raíces, así como en el canal más cercano a cada parcela.

También se registró el nivel de inundación del manglar mediante 4 aparatos de registro continuo automáticos (levelloggers) asociados a las parcelas permanentes de vegetación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coordenadas geográficas de los cuatro aparatos de registro continuo.

Levellogger	Latitud	Longitud
6	21.015209° N	-97.341884° W
7	21.013500° N	-97.341472° W
8	21.011108° N	-97.339633° W
9	21.010486° N	-97.339043° W

Vegetación

Se establecieron 10 parcelas de 20 m x 20 m cada una, definiendo la unidad de muestreo. Se ubicaron 5 parcelas en el manglar de transición y 5 parcelas en el manglar conservado, éstas son las réplicas en cada una de estas áreas (Fig. 1). Cada unidad de muestreo está georreferenciada. En cada una de ellas se realizó el censo de la vegetación que incluye la obtención de las medidas para la caracterización de la estructura del manglar, así como la productividad primaria.

Para la caracterizar la estructura del manglar se utilizó el diseño anidado de registro de individuos dentro de las parcelas: (Fig. 2):

- En cada parcela de 20x20 m se identificaron los individuos a nivel de especie y se midió la altura y el DAP de todos los individuos mayores a 2.5 cm.
- Dentro de la unidad de muestreo de 20 x 20 m, se estableció la subparcela de 10 x 10 m en donde se midieron los individuos con un DAP menor a 2.5 cm y mayores de 1.3 m de altura.
- Dentro de la misma parcela de 10 x 10 m, se midieron los individuos menores de 2.5 cm de DAP pero mayores a 0.30 m y menor a 1.30 m de altura.
- En la parcela de 10x10 m se establecieron cuatro subparcelas de 1 x 1 m asociadas a las esquinas y se registraron la especie y la altura de todos los individuos menores a 30 cm de altura.
- Cada una de las parcelas y subparcelas fueron adecuadamente identificadas y georreferenciadas para presentarse como un avance dentro del primer informe para CONABIO.

Para la caracterización de la vegetación tanto en las áreas afectadas como en el sitio control se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP), área basal, altura y se estimó la densidad, el índice de complejidad, además del cálculo de un índice de valor de importancia, de frecuencia de tallas y de regeneración potencial considerando las tallas más pequeñas.

Descripción de variables:

Una vez delimitada la parcela, se procedió a identificar las especies de manglar y cada individuo se numeró consecutivamente con una placa de aluminio.

A cada individuo se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) de los individuos con DAP >2.5 cm: a partir de esta medición se calculó el área basal y la distribución de frecuencias diamétricas, lo que se usó para los análisis de cohorte. Las variables son las siguientes:

- Área basal: es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido. Para calcular el área basal de una comunidad se suman las áreas basales de todos los troncos en la parcela y el valor se expresa en m² por hectárea (ha). Esta medida es un indicador del grado de desarrollo de una comunidad de manglar porque está relacionado con el volumen de los troncos y la biomasa de la comunidad.
- Densidad: es el número de árboles por unidad de área (ind ha⁻¹). Puede ser considerado un indicador de su desarrollo ya que, como en otros bosques, los manglares pasan 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 (m).
- Índice de complejidad (IC): Es una medida descriptiva-cuantitativa de la complejidad estructural que integra las características estructurales y florísticas, cuantificando el grado de desarrollo de la estructura. Considera el número de especies, la densidad, el área basal total y altura (Holdridge *et al.*, 1971).
- Índice de valor de importancia (IVI): indica el valor de cada especie en relación con las demás: IVI=frecuencia relativa + densidad relativa + dominancia relativa.
- Frecuencia de tallas: Para representar la distribución de diámetros de la comunidad del manglar, se construye un histograma de frecuencias siguiendo la regla de Sturges (1926) para determinar los intervalos de clase:

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

Amplitud de la clase: $C = R / K$

En dónde:

R= ámbito de valores = (Valor mayor – Valor menor)

N= Número de individuos

- *Regeneración potencial*: se realizó en las parcelas de 1 m x 1 m, contando todos los individuos más jóvenes.

Todos las plántulas, juveniles y adultos fueron etiquetados con placas de aluminio para darles seguimiento continuando con el monitoreo de supervivencia y crecimiento. Además, se continuará con el censo de plántulas y propágulos con el objetivo de registrar el éxito o no de la supervivencia

de individuos de mangle en zonas afectadas crónicamente y el reclutamiento de individuos de mangle y de otras especies que usan el manglar en todo o parte de su ciclo de vida, por ejemplo, las aves, para documentar la rehabilitación del sistema.

- *Montículos para el establecimiento de propágulos y crecimiento de plántulas*

En octubre de 2016 se construyeron 40 montículos o islotes en las zonas este-central, oeste-centro, norte-norte y este-norte 10 en cada zona cada islote anotando sus coordenadas geográficas, y con una separación de 15 metros y un diámetro de 1 m. A cada montículo o islote se anotaron sus coordenadas geográficas (Fig. 3). El nivel del agua era de 21 cm en los montículos del norte (EN y NE) y 17 cm en los del centro (OC y EC). Una vez concluido cada islote se le colocaron 30 propágulos del manglar *Avicennia germinans*. La altura de cada montículo fue al nivel de la superficie del agua para ayudar al establecimiento y anclaje de los propágulos.

La productividad primaria se evaluó usando trampas de hojarasca. Se colocaron 5 trampas de hojarasca en parcelas de las zonas conservadas y en transición. Cada mes se colectó el material vegetal de las trampas, se secaron y separaron las diferentes partes vegetales que lo componen (hojas, estípulas, tallos, flores y otras partes florales, propágulos), luego se pesaron por separado para determinar la proporción aportada por cada una de estas partes (López-Portillo y Ezcurra 1985).

Datos biofísicos a partir de fotografías hemisféricas

En cada parcela, y con el equipo en préstamo de CONABIO, se tomaron fotografías hemisféricas en sitios fijos para seguir el desarrollo fenológico y de salud (a través de la ganancia o pérdida de hojas) de los individuos y para registrar los cambios generales en cobertura.

El dispositivo para realizar las fotografías funciona a través de una lente angular (ojo de pescado) que proyecta las coordenadas angulares de un objeto de tres dimensiones en un plano (Martínez y García-Haro 2006, Fig. 4). El análisis de fotografías hemisféricas es un método no destructivo que permite estimar valores in situ de variables biofísicas (como el índice foliar) y que ha mostrado tener un buen desempeño, comparado con otras técnicas. Esto les permite funcionar también como insumo para la validación de productos de vegetación derivados de datos de teledetección (Martínez y García-Haro, 2006) y como herramienta para identificar el estado de salud de la vegetación (Jonckheere, et al. 2006). La información recabada al final del ciclo de monitoreo quedaría como un registro permanente de la forma en la que evolucionaron los cambios en las parcelas y aportará información valiosa en el estudio de patrones fenológicos y sucesión vegetal.

La toma de las fotografías (Fig. 4) se realizó tomando el punto de foto al centro de la parcela y 8 puntos más alrededor para caracterizar al sitio. En cada punto se obtuvieron dos fotos, una hacia el dosel (o al cielo) y otra hacia el piso. En total son 18 fotografías por parcela durante cada visita en el proceso de monitoreo. La distribución y el espacio entre fotos obedecen a la intención de emplear los datos recabados en las parcelas y combinarlas con imágenes SPOT 5 y 6, cuya resolución en modo

multiespectral es de 10 m y 6 m respectivamente. Las fotos 2, 3, 4 y 5 se tomaron con rumbo franco a los cuatro puntos cardinales (N, E, S, W) siguiendo el sentido de las manecillas del reloj. Las fotografías de los puntos 6, 7, 8 y 9, al centro de los cuadrantes formados por los primeros 5 puntos como se muestra a la derecha de la Figura 4.

Monitoreo de fauna como indicador de la restauración del manglar determinando el uso del hábitat por las especies

Se establecieron un total de 20 puntos de muestreo divididos en 4 zonas con distinto grado de perturbación dentro del área de manglar afectada de la Central Termoeléctrica Presidente Adolfo López Mates (CTPALM). Se realizaron 2 visitas mensuales a cada uno de los puntos de observación de aves repartidos en cuatro días al mes, cada uno con una jornada de cinco horas de trabajo (7:00 am a 12:00 pm). Los muestreos se realizaron mediante la técnica de puntos de radio fijo a 30 m (Reynolds et al. 1980, Bibby et al. 1992, Ralph et al. 1996). Las cuatro zonas en las que se dividió el ecosistema de manglar se describen a continuación (Fig. 5):

- **Zona Degradada (ZM):** Son aquellas regiones del área en restauración que han sufrido de la pérdida total de la cobertura vegetal. Esta zona suele estar inundada la mayor parte del año con una profundidad promedio de 15 cm.
- **Zona de transición (ZT):** Se refiere a las zonas limítrofes donde el proceso de degradación se encuentra en proceso y se hace evidente en la estructura física de la vegetación, la cual presenta una serie de síntomas que van desde el cambio de la coloración del follaje, la muerte de las ramas apicales superiores, pérdida de densidad foliar.
- **Zona de borde (ZB):** Son aquellas zonas que se encuentran en los bordes del manglar colindantes con terreno más elevado y suelen estar asociados con vegetación de acahual y humedal.
- **Zona conservada (ZC):** Son aquellas regiones que no presentan alteración en la cobertura vegetal.

Los puntos de conteo se ordenaron sistemáticamente de acuerdo con cada uno de los ambientes presentes en la zona de estudio, con un total de 5 puntos de conteo en cada uno de los ambientes, separados por una distancia mínima de 150 m y máxima de 200 m con el fin de que los muestreos sean independientes (Fig. 5).

La duración de los conteos fue de 10 minutos en cada punto, dejando una pausa de 2 minutos al llegar al punto de conteo antes de comenzar con el mismo, para disminuir los efectos de la perturbación debido a la presencia del observador (Hutto et al. 1986, Wunderle 1992, Bibby et al. 1992).

Diversidad Alfa

Esta se define como el número de especies a nivel local (Whittaker et al., 2001). Esta se obtendrá mediante el listado generado a lo largo del muestreo.

Uso de hábitat

Durante cada uno de los puntos de conteo, se les asignará una categoría de uso de hábitat a los individuos contabilizados según las actividades que los individuos se encuentren realizando. Se utilizarán las categorías propuestas por Alvarado (2004) y Hernández (2007), quedando de la siguiente manera:

- **Descanso (D):** Aquellas aves que se encuentren posando en ramas, troncos o cualquier otra estructura.
- **Alimentación (A):** Consiste en las distintas técnicas de captura, obtención e ingesta de presas.
- **Cortejo (C):** Conjunto de estrategias realizadas por un macho y una hembra, que incluye una gran variedad de despliegues y repertorios con movimientos y cantos, que conducen al apareamiento.
- **Apareamiento (AP):** Es la unión de dos individuos de distinto sexo encaminada a la fecundación.
- **Nidación (N):** Conjunto de acciones realizadas por las aves para fabricar sus nidos, entre dichas acciones se encuentran la selección del nido, la colecta y tejido de material, o en su caso el cavado de nido en un tronco, etc.

Estacionalidad

La estacionalidad está basada en el criterio de Montejo y McAndrews (2006) en su Listado de las aves de Veracruz, que a su vez se basa en el trabajo de Howell y Webb (1995) complementado con observaciones de campo realizadas en el estado de Veracruz, presentando las siguientes categorías.

Códigos de estacionalidad

Residente (R) - Reside todo el año y anida; algunas especies incrementan su abundancia durante parte del año debido a la presencia de poblaciones visitantes o transeúntes.

Visitante de invierno (W) - Visitante que no se reproduce en el Estado, generalmente entre los meses de septiembre y mayo; algunas especies pueden ser encontradas todo el año; incrementando sus números durante los periodos migratorios.

Residente de Verano (S) - Sólo anida en el Estado durante esta época.

Transitoria (T) - Especie que sólo pasa o transita por el área de estudio.

Accidental o vagabundo (A) - fuera de su rango normal

Extirpado del Estado (E): especies cuyas poblaciones han desaparecido en el territorio estatal y solo existen en otros Estados.

Estatus desconocido o cuestionable (?) – Especie de la que no se tiene suficiente información sobre sus rangos de migración.

Las actividades de campo se realizaron según lo indicado en el cuadro 3:

Cuadro 3. Cronograma de actividades desarrolladas en el proyecto.

Componentes	Periodicidad del monitoreo		
	Mensual	Semestral	Anual
Caracterización ambiental			
Hidroperiodo		X	
Salinidad	X		
Potencial redox	X		
pH	X		
Temperatura del agua intersticial	X		
Clima	X		
Hidrología		X	
Elevación y subsidencia de sedimentos			X
Estructura del manglar			
Diámetro a la altura de pecho (DAP)			X
Área basal			X
Densidad			X
Altura			X
Índice de complejidad			X
Índice de valor de importancia			X
Frecuencia de tallas			X
Regeneración potencial.	X		
Otras			
Fotografías hemisféricas	X		
Monitoreo de aves	X		

RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, complementándose con las bases en los archivos de Excel correspondientes a los parámetros monitoreados y un archivo de figuras. Las gráficas de hidrología y hojarasca representan el periodo de monitoreo desde enero de 2016 a diciembre de 2017.

Las variaciones del nivel de subsidencia se muestran en la Figura 6, las variaciones de materia orgánica, Nitrógeno y Fósforo total en la figura 7, los niveles de inundación y del freático (Fig. 8) contrastando las parcelas en sitios conservados (azul) y deteriorados (rojo). De igual manera, las fluctuaciones de la salinidad en dos niveles (superficie y raíz) y de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial (potencial redox, pH y temperatura) como promedio de los diferentes estratos mes con mes durante el periodo de monitoreo (Fig. 9).

Las variaciones del nivel del agua medido con los aparatos de registro continuo (Levellogger) se presentan en la figura 10. Mientras que las variaciones en precipitación y temperatura del aire se presentan en la figura 11.

La caracterización de la estructura del manglar se presenta en las figuras 12, 13; el establecimiento de propágulos y crecimiento de plántulas en la figura 14 y el aporte de producción primaria en cada parcela en la figura 15.

Se incluyen los resultados del monitoreo de aves realizado durante esta etapa del proyecto y se presentan las familias más representativas, que uso le dan al hábitat y su estacionalidad en la figura 16, los resultados de los censos mensuales en la figura 17, la figura 18 ilustra los nidos localizados en las áreas de restauración respectivamente, así como las tablas 4, 5 y 6.

Elevación y subsidencia de sedimentos

La acreción y subsidencia del suelo es una medida de la vulnerabilidad de los manglares ante la posibilidad del incremento en el nivel medio de mar. En la figura 6 se presentan los resultados del monitoreo de los tubos de acreción implementados en las diez parcelas de manglar conservado (5) y deteriorado (5). En los sitios conservados se observa que el nivel de acreción fluctúa entre 3.33 cm y 1.39 cm en 2016 y 2017 respectivamente. Sin embargo, en los sitios deteriorados se observa subsidencia (-1.97 cm) en 2016 y un ligero incremento de los sedimentos (0.68 cm) en 2017 que podría ser resultado de la acumulación de sedimentos al abrir los canales un promedio de 12 m de ancho en noviembre de 2015.

Descripción del perfil de suelo

Las muestras de suelo correspondientes a un manglar de cuenca. Se caracterizan por poseer tres estratos: uno superior formada por limos orgánicos, uno intermedio constituido por una mezcla de limos y arcillas, y el estrato inferior formado por arcillas. En cada estrato de suelo a su vez se puede subdividir en uno o más horizontes cuyas diferencias se manifiestan por cambios textura y/o tonos de la coloración principalmente.

La capa de limos orgánicos es principalmente producto de los aportes de hojarasca del manglar, del ingreso relativamente bajo de materiales en suspensión desde la cuenca de aporte y de la baja exportación del manglar al sistema. El color negro o café oscuro de los limos es producto de taninos y ácidos húmicos procedentes de las hojas de mangle.

La capa de arcillas finas es producto de la acumulación por procesos de percolación. Su color grisáceo se debe a que se originan a partir del reprocesamiento de depósitos eólico-marinos. Los procesos de lixiviación pueden modificar el color de las arcillas oscureciéndolas o manchándolas. La hidromorfía de estos suelos produce una deficiencia o ausencia de oxígeno debido a la saturación hídrica en el estrato arcilloso lo que induce su "gleyzación" la cual se refleja en el desarrollo de arcillas en tonos de grises a verdosos.

Las manchas y motas son producto de la degradación de restos orgánicos o del desarrollo de reacciones químicas en algunos minerales depositados. Durante la gleyzación puede haber la aparición o cambios en el color de las manchas a colores amarillos, verdes e incluso azulosas por la reducción química de sustancias lixiviadas del sustrato superior. Los grumos pueden deberse a minerales recalcitrantes, como restos de carbón o calcáreos de conchas o por la formación de depósitos de sales poco solubles.

La presencia de raíces finas y secundarias en el estrato limoso está directamente relacionada al mayor contenido de nutrientes presentes en el sustrato, aunque se relaciona inversamente con la salinidad. Las raíces de cable tienden a desarrollarse en el estrato más firme, como el arcilloso, ya que son las que le dan soporte y estabilidad al árbol. Los pneumatóforos se desarrollan a partir de las raíces de cable y ascienden hasta la superficie por lo que pueden aparecer en los tres estratos del suelo. La altura que puede alcanzar un pneumatóforo desde el suelo normalmente es la que en promedio existe de inundación.

Con el fin de reconocer los procesos que se están desarrollando en el área de estudio, en cada parcela se tomaron 3 núcleos en puntos seleccionados al azar. A continuación, se hace la descripción de los suelos para cada parcela indicando los procesos sobresalientes que se observaron en cada una. Las tablas de resultados de cada muestra se encuentran en el anexo 1.

Área conservada

Parcela 2. Mostró alta variabilidad distinguiéndose de 4 a 6 horizontes a los 30 cm de profundidad con diferenciación en la amplitud del horizonte limo-arcilloso (Anexo 1). La coloración de los horizontes varió a tonos más claros llegando a tonos GLEY conforme disminuyó el número de horizontes en la muestra. Asimismo, la presencia de manchas fue más evidente en las muestras con menor número de horizontes siendo estas manchas más claras en la muestra con solo 4 horizontes.

Aunque la estructura general de la muestra se mantiene, dominando los limos en la superficie y las arcillas en el fondo, la heterogeneidad en los resultados indica que la parcela está presentando alteraciones que se manifiestan en el menor número de horizontes en las muestras. La reciente degradación de materia orgánica en los horizontes superiores y su penetración hacia el inferior se estaría manifestando por el incremento en la cantidad de manchas oscuras. Las manchas de color más claro serían producto de un prolongado proceso de exposición a un ambiente anóxico, lo cual es coincidente con el proceso de gleyzación observado en los horizontes arcillosos.

La degradación de la materia orgánica se hizo evidente por la menor cantidad de raíces finas y secundarias observadas en el perfil con menor número de horizontes. Otra posible evidencia procesos de perturbación en la parcela sería la ampliación del espesor del horizonte arcillo-limoso en las muestras con mayor gleyzación.

Parcela 4. Las muestras en esta parcela fueron relativamente homogéneas, con 4 horizontes hasta los 30 cm de profundidad (Anexo 1). Sin embargo, una muestra, la que presentaba mayor cantidad

de manchas, presentó ligera tendencia a gleyzación pues algunas de estas manchas eran verdes en el horizonte arcilloso. Además, las manchas estarían sugiriendo procesos de degradación de materia orgánica. Los contenidos de raíces finas y secundarias fueron altos en los horizontes limosos y limo-arcillosos lo que sugiere una alta concentración de nutrientes en estos horizontes.

Parcela 6. Se observó una alta similitud en la estructura y textura de los tres núcleos de suelo y poca diferencia en la distribución de los tipos de raíces encontrados en cada horizonte, lo que sugiere que no hay procesos de perturbación (Anexo 1). Las mayores diferencias se observan en la cantidad y color de las manchas. Un núcleo no presentó manchas, otro con menor cantidad de éstas fue de color oscuro, lo que sugiere un proceso de degradación reciente. El núcleo con el mayor número de manchas en general presentó colores más claros, indicativas de gleyzación y de exposición prolongada a ambientes anóxicos.

Parcela 8. Los tres núcleos presentaron similitudes en cuanto al número de horizontes y sus texturas, donde incluso hubo similitud relativa en la cantidad y tipo de raíces encontrada en cada horizonte (Anexo 1). Sin embargo, hubo diferencias en la apariencia de los horizontes pues si bien el color negro dominó en el estrato superior y la gleyzación fue evidente en los colores de los estratos arcillosos, mientras que en los estratos intermedios los colores mostraron variaciones entre núcleos.

Además, en casi todos los horizontes de las tres muestras se presentaron una mayor cantidad de manchas, con excepción del superficial, lo que sugiere procesos de degradación de materia orgánica y lixiviación de sustancias. En general, los colores que dominaron fueron los oscuros y solo en una de las muestras se puso en evidencia un mayor grado de gleyzación con manchas de colores amarillo, verde y gris.

Parcela 10. En los núcleos de esta parcela mantuvieron los tres estratos característicos; sin embargo, hubo variación en la profundidad donde se encontraba el estrato arcillo-limoso, así como del espesor de este (Anexo 1). Otras diferencias importantes fueron el número de horizontes en el estrato limoso y arcillosos, así como el color observado en las muestras a lo largo del perfil.

Hubo heterogeneidad en cuanto a la presencia de manchas desde ausencia en un núcleo, así como diferencias en la posición y cantidad de ellas en las que presentaban. El núcleo que presentó mayor cantidad de manchas también reveló manchas en el horizonte limoso lo cual sugiere que recientemente se ha llevado a cabo la lixiviación de sustancias orgánicas. En el otro núcleo con manchas, éstas muestran señales de gleyzación lo que sugiere que la exposición a las condiciones de anoxia por mayor tiempo. Sin embargo, una constante en todos los núcleos fue la cantidad y distribución de los tipos de raíces fue relativamente similar a lo largo del perfil.

Área de transición

Parcela 1. Los núcleos mostraron cierto grado de heterogeneidad, en particular a lo referente a la coloración, manchas y contenido de raíces; aunque dos de ellas fueron similares en su estructura

(Anexo 1). En general presentaron una superficie negra limosa que fue cambiando hasta alcanzar tonos grises verdoso en horizonte arcilloso.

Las manchas aparecieron en el horizonte arcillo-limoso y se siguieron observando en el estrato arcilloso con colores oscuros y en el horizonte del fondo se observaron manchas verdes. Esto sugiere degradación de materia orgánica reciente y gleyzación en la parte profunda. Los altos contenidos de raíces finas y secundarias a lo largo de los perfiles sugieren horizontes con alta capacidad de drenaje y ricos en nutrientes. Sin embargo, se observa una alta variabilidad en la profundidad a la que aparecen las raíces de cable.

Parcela 3. Aunque se mantiene la estructura general del sustrato a lo largo del perfil, se observa heterogeneidad entre los núcleos en cuanto al ancho de los horizontes (Anexo 1). La coloración sigue el patrón de colores oscuros en superficie y gris verdosos en el fondo y las pocas manchas observadas se concentraron en el estrato arcilloso. La distribución de los diferentes tipos de raíces varió entre núcleos, pero en general raíces finas y secundarias se concentraron en los horizontes limoso y limo-arcilloso. Las raíces de cable tendieron a concentrarse hacia los horizontes arcillosos del perfil.

Parcela 5. Aunque se mantuvo la estructura general de los estratos se observó marcada variación en el ancho de los horizontes en especial el de arcillo-limosos y el arcillosos (Anexo 1). Los colores que se distinguen en los diferentes horizontes fueron en general más oscuros y en general las manchas se observaron en el estrato arcillo-limoso y en el arcilloso. Tales patrones sugieren que se está llevando a cabo la degradación de materia orgánica en el sitio y que los productos de esta reacción están siendo lixiviados a los estratos profundos. Nuevamente se observa la tendencia de las raíces finas y secundarias de posicionarse en los estratos limoso y limo-arcilloso y raíces de cable hacia el sustrato arcilloso.

Parcela 7. Se observa gran heterogeneidad entre los núcleos con mucha variación entre el ancho de los horizontes, ubicación y cantidad de manchas, aunque se encontraron similitudes en la distribución de las raíces y la tendencia a la gleyzación de los estratos arcillosos (Anexo 1). Las manchas en los núcleos tendieron a encontrarse en los estratos arcillo-limosos y arcillosos también se observó que un núcleo las presento en estrato arcillosos. Por la cantidad de manchas observadas, se sugiere la generación de productos de descomposición solubles que tienden a lixiviar hacia las partes profundas de las muestras donde ocurrirá gleyzación.

Parcela 9. Se encontró homogeneidad entre el ancho de horizontes en los núcleos, en su coloración oscura en superficie y gleyzación de horizontes en el fondo (Anexo 1). La distribución de raíces finas y secundarias también mostro similitudes entere muestras. Sin embargo, hay algunas diferencias entre las muestras en la cantidad de manchas y en la distribución y abundancia de las raíces de

cable. En general la aparición de manchas tendió a ser abundante a partir del horizonte limo-arcilloso, las cuales tendieron a mostrar gleyzación en el estrato arcilloso.

Recursos del suelo

- **Materia orgánica**

El porcentaje de materia orgánica presenta valores promedio más altos en las zonas de manglar deteriorado. Es probable que el contenido de materia orgánica en las zonas deterioradas se vea influenciado por los ambientes inundados y anóxicos de estos sitios y el aporte de la actividad microbiana. Los valores promedio fluctúan entre 16.05 y 18.42 en las parcelas 5 y 9 respectivamente. La variación de materia orgánica en los sitios conservados va de 14.10% en la parcela 4 a 16.43% para la parcela 6 (Fig. 7).

- **Nitrógeno total**

El porcentaje de nitrógeno total aparentemente se va incrementando desde norte hacia el sur, tanto para las parcelas en sitios conservados como deteriorados (Fig. 7). Los valores promedio más bajos se presentan en las parcelas 2 y 4 con 0.48 y 0.49 % respectivamente, y los más altos en las parcelas 7 (0.66 %) y 9 (0.67%) en el manglar deteriorado. Los aportes de nitrógeno en el suelo son generalmente escasos debido a su propia dinámica y biogeoquímica.

- **Fósforo total**

La variación de fósforo total es menor en los sitios conservados, los valores promedio oscilan entre 0.015% en la parcela 10 hasta 0.020 en las parcelas 4 y 6, mientras que en el manglar deteriorado los porcentajes varían desde 0.019 hasta 0.030 en las parcelas 1 y 7 respectivamente. En general los suelos de los manglares son pobres en fósforo (Fig. 7).

Nivel del agua

Se cuenta con los niveles de agua superficial y freática de enero de 2016 a diciembre de 2017 (Fig. 8). El nivel de inundación presenta un patrón similar en el manglar conservado y deteriorado, en ambos el agua superficial va disminuyendo conforme avanza la época de secas (Fig. 8). Durante el año 2016, en marzo el agua entre el nivel del suelo fue el más bajo registrando valores promedio de 4.87 en el manglar deteriorado a 3.5 en el manglar conservado. A partir de abril, se incrementa lentamente el nivel de inundación siendo drástico de agosto a septiembre cuando se registra el máximo de 20.6 cm en la zona deteriorada para volver a decrecer en noviembre y diciembre. En 2017, continua el patrón de disminución del nivel de inundación en los primeros meses del año, registrándose en marzo los valores más bajos, 3.6 cm y 3.7 cm en el manglar conservado y deteriorado respectivamente. En abril nuevamente se incrementa alcanzando 12.1 cm de inundación en el manglar deteriorado y 9.3 cm en el manglar conservado. Entre mayo y agosto el nivel de agua baja alcanzando niveles de 5.6 cm (conservado) y 5.7 cm (deteriorado), incrementándose de manera importante en octubre con valores de 33.8 cm en el manglar

conservado y 29.6 cm en promedio en los sitios deteriorados, siendo los registros más altos de todo el periodo de monitoreo en ambos años. En los dos últimos meses de 2017 el nivel de inundación vuelve a descender.

El manto freático presenta variaciones similares en ambos sitios. En 2016, ambos registran el nivel bajo en abril con -8.55 cm y -3.90 cm tanto en el manglar conservado como en el deteriorado respectivamente (Fig. 8). A partir de agosto se incrementa el nivel freático y en septiembre registra 14.29 cm en los sitios conservados y en noviembre 17.27 cm en los sitios deteriorados. Estas variaciones coinciden con la época climática en la región y va descendiendo hasta diciembre (Fig. 10). Entre enero y marzo de 2017 el manto freático continuó descendiendo y el valor más bajo que se registra es de -1.37 cm para el manglar conservado y -0.63 cm en el manglar deteriorado. En abril se incrementa el nivel freático en ambos sitios para después descender en julio registrando valores de 1.30 y 1.63 cm en los sitios conservados y deteriorados respectivamente. En octubre ocurre un incremento importante en ambos sitios, el nivel promedio del manto freático en las zonas conservadas alcanza 29.57 cm y las zonas deterioradas 28.53 cm, volviendo a descender los siguientes meses hasta diciembre de 2017.

El incremento abrupto que se presenta en octubre de 2017 en ambos sitios se debe a fenómenos naturales como ciclones y huracanes propios de la temporada, sin embargo, las lluvias intensas y oleaje a causa del huracán María (categoría 5 en la escala de Saffir-Simpson) en octubre tuvieron un aporte de agua extraordinario en este período.

En general, el área estudiada se mantuvo inundada durante todo el periodo de monitoreo. Sin embargo, el nivel freático registró valores por debajo del suelo en época de secas durante 2016, siendo menos evidente este patrón en la misma temporada de 2017. Probablemente la inundación se deba a los aportes superficiales provenientes de las microcuencas y en octubre de 2017 además a la ocurrencia de fenómenos naturales (huracanes).

Salinidad

La salinidad es el parámetro con mayor efecto en el manglar, ya que condiciona la presencia de las especies, de su diversidad y de estructura (López-Portillo y Ezcurra 2002).

Durante este periodo de monitoreo entre enero y noviembre de 2016, se observa que a nivel de las raíces la salinidad alcanza una concentración de 63.92 UPS en junio para el manglar deteriorado (Fig. 9). No se observa mucha variación entre el manglar conservado y deteriorado, el promedio de salinidad a nivel de raíces llega a 56.48 UPS (abril) en las parcelas del manglar conservado. En julio empieza a descender la salinidad en ambos tipos de manglar y se registra un valor de 36.05 UPS en los sitios conservados y de 34.34 UPS en los sitios deteriorados en noviembre, siendo los valores más bajos registrados hasta el momento. A partir de diciembre la concentración de sales empieza a incrementar nuevamente y en mayo de 2017 se registran los valores más altos de este periodo con 56.47 y 61.86 UPS en el manglar conservado y deteriorado respectivamente. Estos valores son más bajos que los registrados en la temporada de abril a junio de 2016 lo que es un buen indicador del proceso de restauración hidráulica en la zona. Entre agosto y septiembre de 2017 la concentración

de sales desciende hasta 43.02 y 45.00 UPS en los sitios conservados y deteriorados respectivamente y se mantiene con ese patrón hasta diciembre de 2017 (Fig. 9).

A nivel de superficie, por el contrario, si se observan diferencias entre los manglares deteriorados que tienden a ser más salinos durante 2016, con valores promedio de 67.66 UPS en marzo, mientras que en los sitios conservados el valor máximo de salinidad se registra en febrero con 57.93 UPS. A este nivel, la concentración de salinidad también tiende a bajar en ambos manglares, registrándose los valores mínimos en octubre para los sitios conservados con 36.77 UPS y 43.49 UPS para los sitios deteriorados durante el mes de diciembre. En 2017 la salinidad para los dos tipos de manglar en general disminuye con respecto al año anterior y registra valores promedio máximos de 57.05 (diciembre) y 60.04 (agosto) siendo el valor más alto para el manglar deteriorado. A nivel de superficie el patrón en la concentración de sales presenta escasa variación entre ambos sitios durante 2017, a excepción de octubre, donde se observa el efecto de la inundación y la salinidad registra el valor más bajo del año, con 42.19 UPS en el manglar conservado y 42.93 UPS en el manglar deteriorado (Fig. 9).

Potencial redox

El potencial redox es un indicador de la disponibilidad de oxígeno en el agua intersticial de los manglares. Esto es importante porque con mejor oxigenación aumenta la tasa de descomposición de la materia orgánica y pueden liberarse nutrientes para ser aprovechados por microorganismos y por las plantas mismas.

El potencial redox de los manglares presenta un patrón de variación similar en las dos áreas de monitoreo conservado y deteriorado. En las parcelas con manglar deteriorados se observa un patrón ligeramente constante de enero hasta junio de 2016, se registran los promedios máximos con -168.43 mV en la zona conservada (junio) y -174.07 mV (marzo) en la zona deteriorada. A partir de julio, los valores del potencial redox se reducen en ambas áreas de manglar y registran un promedio mínimo de -239.89 mV (diciembre) en los sitios conservados y -259.47 mV (noviembre) en los sitios deteriorados (Fig. 9). En 2017 en general se observa un descenso en los valores promedio de esta variable, se registran los valores más altos en marzo tanto para el manglar conservado (-216.52 mV) como para el manglar deteriorado (-214.41 mV), y los valores promedio más bajos en septiembre con 285.56 mV para el manglar conservado y -302.30 mV para el manglar deteriorado (Fig. 9).

pH

Los manglares tienen condiciones de inundación y se han registrado valores de pH de 5.5 o menores. El pH determina muchas características notables de la estructura y de la actividad química de los diferentes elementos y caracteriza ambientes.

Es reducida la variación de pH tanto en las parcelas del manglar conservado como deteriorado. En promedio las parcelas en sitios conservados registran valores relativamente más bajos fluctuando alrededor de la neutralidad (Fig. 9). Mientras que en sitios deteriorados tienen valores ligeramente alcalinos, registrando un pH de 7.12 en abril. A partir de enero de 2017 este parámetro se

incrementa en los dos tipos de manglar y se presentan los valores más altos en abril y junio para los sitios conservados con un pH de 7.25, y 7.32 de pH promedio en diciembre para los sitios deteriorados (Fig. 9).

Temperatura

La temperatura del agua intersticial es una variable que fluctúa estacionalmente a lo largo del año presentando un patrón cíclico. Se observan los pulsos más altos en la temporada de verano y los más bajos en invierno.

En la figura 9 se observa que durante los dos primeros meses de monitoreo en 2016 las temperaturas promedio en ambos tipos de manglar fueron bajas, coincidiendo con los meses fríos de invierno, en febrero se registran los valores más bajos, 20.76 °C para las parcelas del manglar conservado y 21.14 °C en las parcelas de los sitios deteriorados. A partir de marzo los valores de temperatura se incrementan alcanzando los valores más altos en junio, 30.05 °C y 31.00 °C para los sitios conservados y deteriorados respectivamente. La temperatura del agua se mantiene constante con valores promedio elevados desde julio hasta septiembre registrando los valores más altos en julio con 30.7 °C y 31.5 °C en las áreas de manglar conservado y deteriorado respectivamente. A partir de septiembre hasta diciembre de 2016 la temperatura empieza a descender coincidiendo con la temporada de otoño. En enero de 2017 se registra el límite más bajo para este año con 23.59 °C y 23.77 °C en el manglar deteriorado y conservado respectivamente. En agosto el manglar conservado presenta el valor promedio más alto de esta temporada de monitoreo con 30.76 °C y en mayo para el manglar deteriorado con 31.32 °C. Se observa que durante este periodo el descenso de la temperatura del agua intersticial es menor comparado con la misma temporada durante 2016. Nuevamente los patrones de variación son muy similares tanto para los sitios conservados y deteriorados (Fig. 9).

Hidroperiodo

En los registros continuos de enero 2016 a diciembre 2017 de los cuatro levelloggers instalados, se observa que el nivel del agua, en general, se encontraba por arriba del nivel del suelo durante todo el periodo de monitoreo (Fig. 10). Los registros máximos y mínimos de cada levellogger son, del 6 fluctuó de -0.015 a 0.659 m; el 7 de -0.213 a 0.635 m; el 8 de -0.366 a 0.623 m y el 9 de -0.057 a 0.375 m. El levellogger 8 es el que presenta mayor variación en el nivel del agua durante la época de secas y probablemente se deba a que se ubica entre el terraplén central y el del sur, registra valores por debajo del suelo hasta 4 cm, coincidiendo con el área donde la mortalidad del manglar está aumentando hacia la laguna.

Es importante destacar que los registros durante la época de secas los levellogger 6, 7 y 9 no fue posible bajarlos en la computadora porque el aparato dejó de funcionar. Los levellogger 6 y 9 mantienen el nivel del agua por arriba del cero (nivel del suelo), mientras que el levellogger 7 registra valores del nivel del agua casi a nivel del suelo. En los 4 aparatos de registro continuo se observa un incremento del nivel del agua por arriba del suelo como respuesta a la época de lluvias.

Precipitación y temperatura del aire

Los registros de la estación meteorológica muestran la estacionalidad de la precipitación y temperatura, con lluvias principalmente en verano y en menor proporción en invierno y la temperatura es alta en secas y lluvias siguiendo el patrón anual de acuerdo con las estaciones climáticas del año (Fig. 11). Los niveles del freático e inundación son una respuesta a la presencia o ausencia de precipitación (Figs. 8 y 10). En la figura se incluyen los huracanes que impactaron en la costa norte de Veracruz siendo en 2014 Dolly (septiembre 1-3); en 2016 Danielle (junio 19 – 21) y Earl (agosto 2 – 6) y en 2017 Franklin (agosto 6 – 10) y Katia (septiembre 5 – 9). En 2015 no impactaron eventos hidrometeorológicos en la costa norte de Veracruz. Sin embargo, la precipitación se incrementa en es año y alcanza su máximo en junio – julio de 2016 (Fig. 11). También se observa que el año mas lluvioso fue 2015 con 861.6 mm anuales y en 2017 se registró 751.4 mm anuales.

Vegetación

Se presentan los resultados de la evaluación de la estructura de la vegetación en 10 parcelas fijas de 20mx20m en 2016 y 2017 (Fig. 12). En general la especie de manglar mejor representada es *Avicennia germinans* y con algunos individuos de *Rhizophora mangle*, por lo que los resultados se enfocan principalmente al mangle negro. La Figura 12 muestra la relación entre los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 2.5 cm y la altura promedio de los árboles, tanto para los sitios en manglar deteriorado (rojo) como para los sitios en manglar conservado (azul). En general los árboles más altos se encuentran en el manglar conservado, y se observa que a medida que se va incrementando el DAP también se incrementa la altura de los árboles. Por otro lado, la altura de los árboles es consistentemente menor para diámetros similares en las zonas deterioradas como consecuencia de la mortalidad de las ramas más altas. Sin embargo, se mantiene la diferencia entre las pendientes al comparar zonas conservadas con zonas deterioradas.

En la Figura 13 se presentan los parámetros estructurales que se midieron durante 2016 y 2017. Se observa que el manglar conservado en general alcanza valores más altos en relación con el manglar deteriorado. Los árboles con mayor de DAP se encuentran en los sitios conservados, a excepción de la parcela 1 donde en el manglar deteriorado se registran los valores promedio de DAP más altos en los dos años (11.78 cm \pm 0.79 en 2016 y 11.33 cm \pm 0.77 en 2017). El valor máximo registrado de área basal se ubicó en la parcela 4 también en ambas mediciones (25.13 m²/ha en 2016 y 24.37 m²/ha en 2017) en el manglar conservado, mientras que el menor en la parcela 5 (10.91 m²/ha en 2016 y 10.76 m²/ha en 2017) en el manglar deteriorado.

En la parcela 4 se registran las alturas promedio más alta de 5.41 m \pm 0.18 en 2016 y 5.57 m \pm 0.20 en 2017. Las parcelas en sitios conservados presentan alturas promedio ligeramente mayores a los sitios deteriorados. Mientras que se observa mayor variación en los valores de la altura máxima registrada en cada parcela, donde también la parcela 4 tiene al árbol más alto en relación con las otras parcelas registrando una altura de 10.03 m \pm 0.18 y 9.58 m \pm 0.20 en 2016 y 2017 respectivamente.

La densidad de árboles presenta algunas variaciones entre ambos años y se observa que los valores altos ocurren tanto en sitios conservados como deteriorados. Las parcelas 3 y 6 alcanzan los valores más altos en los dos años. La parcela 3 registra valores de 5,125 ind/ha en 2016 y 4,475 ind/ha, siendo el valor más alto en 2017. La parcela 6 obtiene el mayor valor en 2016 con 5,925 ind/ha y en 2017 presenta una densidad de 4,450 ind/ha. Para toda la comunidad, de acuerdo con el índice de complejidad, los sitios con manglar conservado registran valores altos en relación con el manglar deteriorado, fluctuando entre 20.79 y 18.58 en la parcela 4 en 2016 y 2017 respectivamente, por lo que se puede establecer que la zona conservada se considera como un bosque joven y con un buen desarrollo estructural (Fig. 13).

Durante 2016 se realiza la evaluación de plántulas de *Avicennia germinans*, tomando como criterio aquellas que se encontraban flotando en las 4 subparcelas de 1 m² en cada sitio (5 en manglar conservado y 5 en manglar deteriorado), así como las que ya se encontraban fijadas al sustrato en esta misma área. En la Figura 14A se muestran los resultados de la regeneración del manglar determinado por el número de plántulas menores a 30 cm de altura, se puede observar en los sitios de manglar deteriorado es escasa registrándose individuos solo en la parcela 3 (2,500 ind/ha), por el contrario, en los sitios de manglar conservado sólo la parcela 2 no presenta regeneración y la parcela 4 alcanza la mayor densidad de plántulas con 7,500 ind/ha. En la evaluación de 2017 no se encontraron plántulas en ninguna subparcelas de 1 m² en las 10 parcelas de monitoreo.

No obstante, que se evaluó la regeneración potencial en las parcelas de 1m x 1m el número de individuos fue de 12 de los cuales nueve son de *Avicennia germinans* y 3 de *Rhizophora mangle*, se diseñó el establecimiento de 40 montículos construidos con el mismo suelo del área. Se ha observado que existen abundantes propágulos flotando entre agosto – enero pero que el nivel del agua es superior a la altura del hipocotilo que no se pueden establecer más que en las zonas someras como son los márgenes de los canales transversales a los terraplenes. Los montículos favorecerían este establecimiento se observa desde octubre siendo en enero 2017 el mayor establecimiento de propágulos en los montículos. También se observa en noviembre de 2016 el mayor número de propágulos flotando cerca de los islotes. Siendo los islotes con mayor establecimiento de propágulos ubicados entre el terraplén sur y el central (Fig. 14C y D). Las plántulas establecidas sin y con hojas tienen mayor altura en la región entre terraplén sur y centro que en el norte. Sin embargo, es mayor el número de hojas en el norte que en el centro (Fig. 14B).

Hojarasca

Se presentan los resultados de monitoreo y procesamiento de la hojarasca proveniente de las 50 trampas asociadas a las parcelas de 20m x 20m de enero de 2016 a diciembre de 2017. En general la hojarasca esta mejor representada para *Avicennia germinans* que para *Rhizophora mangle*. Por lo que los resultados también se refieren principalmente al mangle negro. La productividad primaria esta expresada en g/m²/mes.

En la Figura 15 se tienen los resultados de productividad por parcela y se observa que es similar el patrón de máximos y mínimos de los diferentes componentes tanto en las parcelas con manglar conservado que con manglar deteriorado. La parcela 7 se ubicó en 2011 (Primera Parte del Proyecto)

en la zona de transición, pero ahora ya está en la zona muerta puesto que la mortandad ha avanzado hacia la laguna. Los valores máximos del componente hojas se registran en la parcela 2 en julio (68.51 g/m²/mes). En la zona de transición (Parcela 5) se registró el valor más alto del componente ramas (26.97 g/m²/mes, en noviembre). En la zona conservada el componente ramas registró su valor máximo en mayo en la parcela 6 (39.16 g/m²/mes). El valor registrado como componente flores es mayor en el manglar conservado (Parcela 4, 10.39 g/m²/mes) con respecto a el área en transición (Parcela 1, 7.76 g/m²/mes) ambos en julio. El componente propágulos el valor más alto se registra en el manglar conservado (Parcela 8, 120.36 g/m²/mes) que en el de transición (Parcela 3, 109.90 g/m²/mes), siendo en octubre para ambos.

En este periodo de evaluación (enero a diciembre de 2016) se observa una respuesta en la producción de hojarasca, a la ampliación de los canales realizada en noviembre de 2015, principalmente en los componentes flores y propágulos del manglar. Por ejemplo, en el manglar en transición se registró 304 propágulos por mes (Parcela 3, octubre) en comparación al manglar conservado donde se registra 203 propágulos por mes en la Parcela 4 en octubre (Fig. 15).

Durante el primer semestre de 2017 el patrón en la productividad primaria es muy similar en la mayoría de las parcelas al reportado en 2016 en la misma época (Fig. 15). A excepción de la parcela 4 donde se observa un importante incremento en el mes de junio en los componentes de hojas y ramas. En la Parcela 8 también se observa un incremento considerado del componente ramas en febrero de 2016 registró 0.55 g/m²/mes y en febrero de 2017 alcanzó una producción promedio de 48.76 g/m²/mes en total. Por el contrario, en la parcela 6 se observa una importante disminución en el componente ramas en los meses de mayo (39.16 a 2.21 g/m²/mes), junio (38.12 a 1.72 g/m²/mes) y noviembre (34.20 a 5.09 g/m²/mes) de 2016 y 2017 respectivamente. De manera general, la dinámica en la producción de hojarasca presenta un patrón cíclico, concentrándose las mayores producciones en el último semestre del año, desde junio hasta diciembre, siendo marcada la producción de propágulos entre septiembre y noviembre. En 2017 es posible que la colecta de hojarasca haya sido afectada por los fuertes vientos en la temporada de ciclones y huracanes por lo que en las gráficas se aprecia una aparente baja productividad sobre todo en el componente propágulos. Sin embargo, las parcelas 6 (82.42 g/m²/mes), 9 (56.72 g/m²/mes) y 10 (62.89 g/m²/mes) alcanzaron una mayor producción primaria total que en 2016.

Monitoreo de aves

En el periodo comprendido entre enero 2016 a junio de 2017 se han registrado un total de 3,580 individuos pertenecientes a 115 especies agrupadas en 36 familias, siendo *Eudocimus albus*, *Setophaga petechia*, *Himantopus mexicanus*, *Phalaropus tricolor*, *Calidris minutilla*, *Egretta thula* y *Ardea alba*, *Parkesia noveboracensis*, *Nyctanassa violacea*, *Tachycineta albilinea* y *Egretta tricolor* las especies más abundantes que se encuentran (Tabla 1). De las 36 familias registradas, las más representativas fueron la Parulidae (Chipes) con 12 especies, Ardeide (Garzas) con 11 especies, Tyrannidae (Tiraos y papamoscas) con 11 especies y la Scolopacidae (Aves playeras, con 9 especies; Fig. 16).

El único antecedente disponible sobre la diversidad de la zona es el de Hernández-Sánchez (2010) donde se realizó el muestreo en la misma área durante el periodo de octubre de 2009 a febrero de 2010, época en donde las condiciones del sitio presentaban salinidades extremas y periodos de desecación prolongados, en esas condiciones se lograron registrar un total de 31 especies, mientras que de octubre de 2016 a febrero de 2017 se contabilizaron un total de 62 especies, las cuales se encontraban en un ambiente en proceso de restauración, cuya salinidad y periodos de inundación son más estables. El aumento en el número de especies puede deberse a la mejora de las condiciones en el lugar englobando tanto los aspectos fisicoquímicos, la estructura y el régimen de mareas. Este incremento en el número de especies puede estar asociado a las mejoras en las condiciones del hábitat, al haber un hidropereodo más estable y con unas condiciones fisicoquímicas más favorables esto propicia la existencia de una red trófica más compleja que se traduce en una mayor diversidad de organismos.

Uso de hábitat

Las observaciones realizadas hasta el momento indican que las aves utilizan esta zona principalmente para alimentarse y en segundo lugar para el descanso dentro de esta categoría se pueden reportar individuos perchados, acicalándose o durmiendo (Fig. 17B). La observación de actividades reproductivas en esta zona fue casi nula durante los recorridos y solo se registró un individuo en acciones de nidificación. A lo largo del periodo de estudio, se obtuvo un registro mayor en la zona de borde y en la muerta, mientras que en la zona conservada y en transición los conteos de aves fueron menores (Fig. 18), probablemente porque el espejo de agua es más atractivo para las especies donde encuentran mayor disponibilidad de alimento. Pero existe una actividad reproductiva dentro de la zona de estudio, la razón por la cual no se detecta dentro de los muestreos es que el método empleado no es el indicado para detectar eficientemente la actividad reproductiva. Ejemplos de actividad reproductiva dentro del área son: nidos activos encontrados de *Sporophila torqueola*, *Setophaga petechia columbina inca* e *Himantopus mexicanus* (Fig. 19).

Estacionalidad

Como resultado de los censos se puede observar que la mayoría de las especies son residentes (63%) mientras que el 31% son especies migratorias y probablemente 1% de migratorias de invierno. En menor medida encontramos a las transitorias con un 4%, las de estacionalidad cuestionable, así como las Accidentales o vagabundas con apenas un 1% (Fig. 17C).

Este porcentaje alto de especies migratorias que utilizan la zona como zona de paso durante su proceso migratorio, indica que existe una considerable disponibilidad de alimento, así como condiciones óptimas de hábitat.

Conclusiones

Se observa acreción en las parcelas que se ubican en la zona de transición en 2017 como resultado de la acumulación de sedimento al abrir los canales transversales en noviembre de 2015.

En general se logra ver en ambos grupos de parcelas, tanto de las áreas conservadas como de transición, que los estratos del suelo se mantienen su estructura sin mayor alteración. En el **área conserva** donde algunas parcelas tienen algún grado de afectación, en general logra mantener atributos naturales, incluyendo de procesos de gleyzación en horizontes arcillosos. En el **área de transición** estos atributos del suelo son en muchas de las muestras enmascarados por las sustancias lixiviadas por su color oscuro.

En general, los recursos del suelo (materia orgánica, Ntotal y Ptotal) tienen concentraciones más altas en el manglar deteriorado que en conservado.

Durante 2016 y 2017 el área de estudio permaneció inundada con un tirante de agua mayor en el área deteriorada que en el conservado. Mientras que el nivel freático solo registra nivel por debajo del suelo en abril de 2016.

Los reguladores del suelo (salinidad, potencial redox pH y temperatura) presentaron valores de salinidad más altos en la zona muerta que en la zona conservada, pero dentro de los límites de la zona conservada. El potencial redox, pH y temperatura presentan no presentan diferencias.

Las acciones de restauración hidrológica con la apertura de los canales favorecieron el lavado de las sales en el agua.

La subsidencia del suelo en las áreas muertas no favorece el establecimiento de los propágulos y crecimiento de las plántulas, es necesario incrementar el nivel del suelo para ayudar la reforestación natural e inducida

Se incrementó la productividad evaluada por la hojarasca es un buen indicador de las acciones de restauración que se llevaron a cabo.

Entre los estudios de aves realizados entre octubre de 2009 a febrero de 2010 y de octubre de 2016 a febrero de 2017 se incrementó de 31 a 62 especies diferentes de aves debido probablemente por la mejora de las condiciones en el lugar englobando tanto los aspectos fisicoquímicos, la estructura y el régimen de mareas

REFERENCIAS

- Alvarado, R. L. F., V. S. Hernández. (2004). Distribución estacional y uso de hábitat de Ciconiiformes en la reserva El Playón de Mismaloya. Jalisco, México. Departamentos de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zona Costera, Universidad de Guadalajara. 38(1): 1 -19
- Bibby, C.J., N.D. Burgess y D.A. Hill. 1992. Bird Census Techniques. Academic Press, Londres.
- Blake, G.R. y K.H. Hartge. 1986. Bulk density. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph Nº 9. Second Edition. Pp. 363-376.

- Bosire J.O., F. Dahdouh-Guebas F, M. Walton, B. Crona, R.R. Lewis, C. Field, J.G. Kairo, y N. Koedam. 2008. Functionality of restored mangroves: a review. *Aquatic Botany* 89:251–259
- Cintrón G. y Y. Schaeffer-Novelli, 1983. Introducción a la ecología del manglar. UNESCO, Montevideo, 109 p.
- Cottam, G. y J.T. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37: 451-460.
- González, J.I., 2009. MAR V1.0. Copyright©2010 Oceanografía Física. CICESE: Derechos Reservados. <http://oceanografia.cicese.mx/predmar/marques.html>
- Hernández, P. L., et al. 2007. Densidad de población y uso de hábitat de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en Hualtepec, Hidalgo, Veterinaria México, Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México, 38 (4): 409-417.
- Hernández Sánchez M. 2010. Avifauna del sitio Ramsar 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” y ambientes adyacentes. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan Ver. México
- 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
- Howell, S. N. y S. Webb. 1995. The Birds of México and Northern Central America. Oxford University Press. E.U.A. 851 pp.
- Hutto, R.L., S.M. Pletschet y P.I. Hendricks. 1986. A fixed–radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk* 103:593–602.
- Lee S.Y., R.J.K. Dunn, R.A. Young, R.M. Connolly, P.E.R. Dale, R. Dehayr, C.J. Lemckert, S. McKinnon, B. Powell, P.R. Teasdale, D.T. Welsh. 2006. Impact of urbanization on coastal wetland structure and function. *Austral Ecology* 31:149–163
- Lewis III, R.R. 2009. Methods and criteria for successful mangrove forest restoration, Chap. 28: 787-800. In: G.M.E. Perillo, E. Wolanski, D.R. Cahoon, y M.M. Brinson, (eds), *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier.
- López Portillo, J. y E. Ezcurra. 1985. Litter fall of *Avicennia germinans* L. in one year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacán, Tabasco. *Biotropica* 17, 186 190
- Montejo, D. J. y A. McAndrews. 2006. Listado de las aves de Veracruz, México/Check-list of the Birds of Veracruz, México. Boletín de Divulgación No. 1/Outreach Bulletin No. 1. Endémicos Insulares, A.C. Veracruz, Veracruz, México.
- Ralph, C.J., G.R. Geupel, P. Pyle, T.E. Martin, D.F. De Sante y B. Milá. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report, PSW– GTR–159, Pacific Southwest Research Station, Forest Services, U.S. Department of Agriculture, Albany, California.
- Reynolds, R.T., J.M. Scott y R.A. Nussbaum. 1980. A variable circular–plot method for estimating bird numbers. *The Condor* 82:309–313.

- Sturges, H. 1926. The choice of a class interval. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 21: 65-66
- Twilley R.R. y V.H. Rivera-Monroy. 2009. Ecogeomorphic models of nutrient biogeochemistry for mangrove wetlands. In: G.M.E. Perillo, E. Wolanski, D.R. Cahoon, M.M. Brinson, (eds), *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier. Holanda.
- Vovides, A.G., J. López-Portillo y Y. Bashan. 2011. N₂-fixation along a gradient of a long-term disturbance in tropical mangroves bordering the Gulf of Mexico. *Biology and fertility of soils* 47:567-576.
- Whittaker, R.J., K.J. Willis y R. Field. 2001. Scale and species richness: Towards a general, hierarchical theory of species diversity. *J. Biogeogr.*, 28: 453-470.
- Wunderle, J.M., Jr., J.D. Lodge y R.B. Waide. 1992. The short-term effects of Hurricane Gilbert on terrestrial bird populations on Jamaica. *The Auk* 109:148-166.