

Informe final* del Proyecto LM004
Impacto de la variabilidad climática en la estructura de manglares de Sinaloa*

Responsable: Dra. Mercedes Marlenne Manzano Sarabia
Institución: Universidad Autónoma de Sinaloa
Facultad de Ciencias del Mar
Dirección: Apartado Postal 610, Mazatlán, Sin, 82000 , México
Correo electrónico: mmanzano@uas.edu.mx
Teléfono/Fax: 01 (669) 9540718
Fecha de inicio: Octubre 31, 2014.
Fecha de término: Diciembre 19, 2018.
Principales resultados: Base de datos, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Manzano Sarabia, M. M., F. Flores Cárdenas, O. G. Millán Aguilar, L. E. Rodríguez Arredondo, J. L. López Magaña, Hurtado Oliva, M. A. y M. I. Grano Maldonado. 2019. LM004 "Impacto de la variabilidad climática en la estructura de manglares de Sinaloa". Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias de Mar. **Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. LM004** Ciudad de México.

Resumen:

Las características estructurales de los manglares están influenciadas por la magnitud y periodicidad de funciones forzantes relacionadas con variables ambientales. Los sistemas forestales son considerados como mosaicos de parches que varían en tamaño y que contienen individuos de diferente edad o etapa de desarrollo y que son resultado de eventos de disturbios -naturales o humanos- que ocasionan fragmentación de la cobertura original. La evaluación de los manglares respecto a su estructura, genética, condición de salud (e.g. índice de vegetación), así como la identificación de los principales agentes forzantes de cambio -de origen natural y/o humano-coadyuvaría en el conocimiento del estado de conservación, vulnerabilidad y resiliencia de estos ecosistemas. La presente propuesta tiene como objetivo principal realizar un estudio sobre la vegetación de manglar de Sinaloa, a partir del análisis de su estructura, genética, condición de salud y caracterización socio-económica y ambiental, que permitirá identificar el impacto de las actividades humanas y la variabilidad climática en estos ecosistemas.

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

Informe final

Proyecto LM004. Julio de 2018



Participantes:

Dra. Mercedes Marlenne Manzano Sarabia¹. Responsable técnico.

Dr. Francisco Flores Cárdenas¹

Dra. Olivia Guadalupe Millán Aguilar¹.

M. en C. Lidia Esther Rodríguez Arredondo¹.

M. en. C. Jorge Luis López Magaña¹

Dr. Miguel Ángel Hurtado Oliva¹

Dra. Mayra Ixchel Grano Maldonado²

Asesor: Dr. Jorge López Portillo³.

¹Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa

²Universidad Autónoma de Occidente

³Instituto de Ecología, A.C.



ÍNDICE	Pág.
Resumen ejecutivo y análisis de efectividad	
Agradecimientos	
Introducción	1
Objetivo general	2
Objetivos particulares	2
Materiales y Métodos	2
Resultados	19
Estructura forestal	19
Data loggers	96
Oceanografía satelital	108
Huracanes y tormentas tropicales	111
Estaciones climatológicas	112
Análisis de sedimentos	113
Clase de corona	118
Producción de hojarasca	120
Mortalidad	121
Densidad de plántulas	125
Conclusiones	127
Literatura citada	128
Anexo 1. Sistema de clasificación de humedales	134
Anexo 2. Fotografía en 360°	136
Anexo 3. Microtopografía	140
Anexo 4. Productos parciales y totales. Proyecto LM004	142

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe final corresponde al proyecto LM004 “Impacto de la variabilidad climática en la estructura de los manglares de Sinaloa”. Las características estructurales de los manglares están influenciadas por la magnitud y periodicidad de funciones forzantes relacionadas con variables ambientales, además de las actividades humanas. Los sistemas forestales son considerados como mosaicos de parches que varían en tamaño y que contienen individuos de diferente edad o etapa de desarrollo y que son resultado de eventos de disturbios -naturales o humanos- que ocasionan fragmentación de la cobertura original. El objetivo principal del proyecto fue realizar una evaluación en seis comunidades de manglar de Sinaloa a partir del análisis de su estructura y la caracterización ambiental de los sitios de estudio, para identificar el estado actual de conservación y la influencia de la variabilidad climática en estos ecosistemas. Se analizaron en total treinta parcelas 20 x 20 m y se determinaron diversos atributos estructurales, destacando un gradiente latitudinal en el DAP₁₃₀ y altura promedio, incrementando el valor promedio de norte a sur así como entre etapas (2015-2016; 2017-2018), mientras que la mayor densidad de individuos con DAP₁₃₀ > 2.5 cm registró los valores promedio más altos en San Ignacio-Navachiste-Macapule, Estero de Urías y Huizache-Caimanero. En la zona costera adyacente predominaron condiciones cálidas en la temperatura superficial del mar y una productividad baja (clorofila *a* como *proxy* del fitoplancton). En el caso de la mortalidad, también se observó un gradiente latitudinal, incrementando de norte a sur, donde la causa aparente de mortalidad se asoció principalmente a causas naturales, mientras que en el sur y particularmente en Huizache-Caimanero a la tala, siendo en este caso más vulnerable *L. racemosa*. Con referencia a las plántulas, el menor repoblamiento fue observado en la primera etapa y pudo estar asociado a la predominancia de condiciones menos óptimas para el establecimiento y supervivencia de las plántulas, *i.e.* mayor temperatura y salinidad, además de una menor humedad en el suelo. Los resultados del proyecto representan una referencia sobre el estado estructural y ambiental de las comunidades de manglar en Sinaloa durante 2015-2018, sirviendo de apoyo en las acciones de monitoreo y diagnóstico que se realizan a nivel nacional.

Análisis de efectividad: Se realizó el análisis de estructura forestal en 30 parcelas de 20 x 20 m en seis lagunas costeras de Sinaloa en dos etapas, así como de las variables ambientales y climáticas que influyen en cada zona de estudio. No fue posible adquirir el equipo SET para determinar los cambios de elevación de los sedimentos en las unidades de muestreo, mientras que en el caso de la instalación de la torre fenológica se registró una falla en el sensor PAR por lo que no fue posible su instalación.

Resultados principales: Informe final, base de datos de estructura, base de datos ambiental, catálogo fotográfico georreferenciado y en 360°, videos/dron, tesis, artículos indizados, de divulgación y capítulo de libro (Anexo 4).

Palabras clave: manglares, estructura, variabilidad climática, Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule, Santa María-La Reforma, Ceuta, Estero de Urías, Huizache-Caimanero.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad por los apoyos otorgados para la realización del presente proyecto. Particularmente a la M. en G. María Isabel Cruz López, M. en C. Yvonne Simms del Castillo, Dr. Luis Humberto Valderrama, M. V. Z. Sebastián Ortiz Seguí, y Dr. Rainer Andreas Ressler por su asesoría durante el desarrollo del mismo.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por las facilidades otorgadas, particularmente a la Dirección General de Vinculación y Relaciones Internacionales, a través de la M. en C. América Lizárraga González e Ing. César Quintana Corrales.

A los Doctores Thomas W. Doyle y Alejandro Nettel Hernanz por el apoyo brindado durante la etapa inicial del proyecto, así como en la asesoría a estudiantes de Posgrado participantes.

A los pescadores que nos acompañaron durante los muestreos en las lagunas de Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule, Santa María-La Reforma, Ceuta, Estero de Uría y Huizache-Caimanero.

A los estudiantes tesistas y de servicio social de la Facultad de Ciencias del Mar, U.A.S. que apoyaron el trabajo de campo y laboratorio: César Garzón Alarcón, Jesús Pérez Carrillo, Luis Ángel García Alarcón, María Luisa Ordoñez Rosas, Francia Ruvalcaba y Luis Alberto Díaz Lara.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de manglar son reconocidos por su importancia biológica y socio-económica, los cuales funcionan como sistemas de transición entre los ambientes terrestres y marinos. Son zonas altamente productivas y biodiversas que proveen de diferentes servicios ambientales, tales como el mantenimiento de la línea de costa, actuando como zonas de amortiguamiento ante eventos meteorológicos, protección contra la erosión, mantenimiento de la calidad del agua, hábitat para especies marinas y terrestres, entre otros (Gattuso *et al.*, 1998; Félix-Pico *et al.*, 2006; Holguín *et al.*, 2006; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). Numerosas pesquerías litorales dependen de la presencia de las lagunas costeras y de las áreas de manglar como zonas de crianza y refugio para diferentes especies en al menos una parte de su ciclo de vida (Faunce y Serafy, 2006; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). Debido a su importancia, los manglares del noroeste de México han sido objeto de estudio, principalmente respecto a aspectos biológicos y ecológicos de las especies *Avicennia germinans* (mangle negro), *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) (*e.g.* Flores-Verdugo *et al.*, 1987; González-Acosta *et al.*, 2001; Toledo *et al.*, 2001; Arreola *et al.*, 2004; Félix-Pico *et al.*, 2006; Holguín *et al.*, 2006, Strangmann *et al.*, 2008). En el caso de Sinaloa, el mayor número de publicaciones indizadas sobre manglares de acuerdo a una búsqueda realizada en el sistema *Web of Science*, se refieren principalmente a estudios a nivel del paisaje utilizando técnicas de percepción remota (*e.g.* Cornejo *et al.*, 2005; Ruiz-Luna *et al.*, 2010; Kovacs *et al.*, 2011), impactos de actividades acuícolas (*e.g.* Berlanga-Robles *et al.*, 2011; Carrasquilla-Henao *et al.*, 2013), genética (*e.g.* Millán-Aguilar *et al.*, 2016) y productividad (*e.g.* Flores-Cárdenas *et al.*, 2016).

En estructura forestal, la altura y diámetro de los individuos en un bosque no están distribuidos al azar, ya que son el resultado de diversos factores como competencia, crecimiento, regeneración, mortalidad (UNESCO, 1980), así como al forzamiento de las condiciones climáticas predominantes y otros agentes de disturbio (Saenger, 2002). El proyecto incluyó el estudio de la estructura de comunidades de manglar, así como la caracterización ambiental en seis sistemas lagunares de Sinaloa: Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule, Santa María-La Reforma, Ceuta, Estero de Urías y Huizache-Caimanero.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la estructura de seis comunidades de manglar en Sinaloa y la variabilidad climática local-regional.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar la estructura de los manglares de seis sistemas lagunares de Sinaloa (Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule, Santa María-La Reforma, Ceuta, Estero de Urías, Huizache-Caimanero).
- Evaluar la variabilidad ambiental de los sitios de estudio a través de mediciones *in situ* de variables físico-químicas, información satelital histórica, cartografía y bases de datos derivadas de estaciones climatológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios de estudio corresponden a seis sistemas lagunares de Sinaloa: Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule, Santa María-La Reforma, Ceuta, Estero de Urías y Huizache-Caimanero, seleccionados a partir de su cobertura, su relevancia ecológica y su importancia socio-económica (Figura 1). La descripción de la clasificación de los humedales según Cowardin *et al.* (1979), así como de los diferentes tipos fisonómicos de los manglares se mencionan en el Anexo I.



Figura 1. Área de estudio en Sinaloa.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

AGIABAMPO

El sistema lagunar Agiabampo (Figura 2) se localiza en la zona limítrofe entre Sonora y Sinaloa (para esta investigación se consideró la delimitación latitudinal 26.47-26.11°N y longitudinal 109.40° a 109.07° O). Fue elegido como sitio de estudio por su importancia ecológica y socio-económica, así como por la escasa información existente en esta laguna sobre ecología de manglares. En esta zona se realizan diversas actividades económicas (pesca, agricultura, acuicultura) que históricamente han ocasionado cambios en el ecosistema.



Figura 2. Ubicación geográfica y detalle del sistema lagunar Agiabampo. Se indica la distribución de las parcelas ID 1-5 (puntos). Imagen de Google Earth.

El sistema lagunar es actualmente considerado como un estuario negativo; asimismo, desde hace décadas se ha interrumpido el aporte de agua dulce debido al represamiento del Río Fuerte, generando cambios en las condiciones de salinidad y actualmente el ingreso de agua dulce al sistema se realiza por medio de los drenes de riego del Distrito Agrícola del Valle del Carrizo. Estas modificaciones ambientales también han afectado la ecología de algunas especies, como ha sido observado respecto al tiempo de permanencia del camarón café *F. californiensis* en el sistema lagunar (Manzano-Sarabia,

2003; Manzano-Sarabia *et al.*, 2007). Por otra parte, a partir de imágenes satelitales se ha determinado que la cobertura de manglar ha disminuido desde 1993 en ~ 13%, mientras que la acuicultura ha mostrado un crecimiento en ese periodo (Millán-Aguilar, 2016). En la franja costera se han identificado cambios en la concentración de clorofila *a* (Chl-*a*) determinada a partir de imágenes satelitales (Figura 3). El registro de florecimientos extensos de fitoplancton en la región ha sido asociado con las descargas derivadas de los sistemas agrícolas en el Valle del Yaqui al proporcionar cantidades grandes de derivados nitrogenados que favorecen los incrementos en la biomasa fitoplanctónica (Beman *et al.*, 2005). Sin embargo, el aporte de nutrientes derivados de la acuicultura debe ser considerado también como un factor importante de contaminación. Es factible que en el futuro se incremente la contaminación por nitrógeno asociado a las descargas agrícolas y acuícolas, por lo que los cuerpos de agua y las áreas oceánicas adyacentes podrían sufrir cambios importantes.

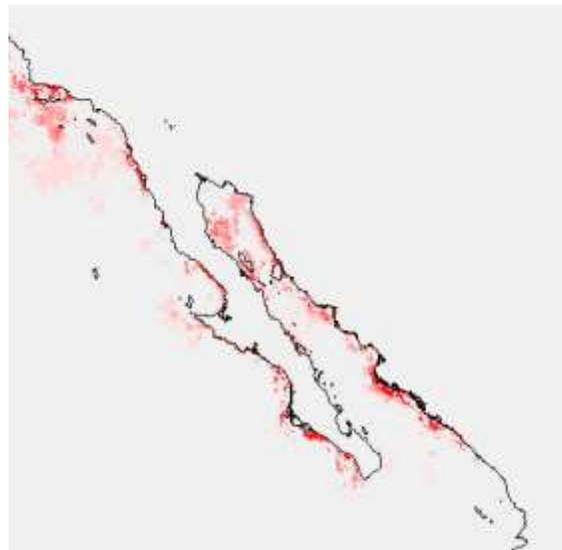


Figura 3. Tendencia (algoritmo Sen; Gilbert, 1987) en el máximo anual de la clorofila *a* (Chl-*a*) en el noroeste de México. Las áreas en rojo indican pixeles cuya tendencia en el máximo anual de Chl-*a* fue positiva y significativa ($P < 0.05$) durante el periodo de 1997-2012. Las áreas sin tendencia se muestran en gris.

Este sistema lagunar está considerado como sitio Ramsar y Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA). Las actividades económicas realizadas en el área de influencia del sistema son la pesca artesanal así como de autoconsumo (con especies como la lisa rayada, mojarra mancha negra, pargo colmillón y el robalo negro), la agricultura de temporal (siendo las más comunes el frijol, garbanzo y tomate), la ganadería extensiva y el cultivo intensivo y semi-intensivo de camarón (Ficha técnica Ramsar; <https://www.ramsar.org/es/humedal/mexico>).

SAN IGNACIO-NAVACHISTE-MACAPULE

El sistema lagunar de San Ignacio-Navachiste-Macapule (Figura 4) es considerado como área AICA (No. 93) con la categoría G-4-C que corresponde a ecosistemas con especies que se caracterizan por ser vulnerables, por presentarse en números grandes en sitios clave durante la reproducción o la migración (Ficha Ramsar 2006-2008). Las tres lagunas abarcan un área de 280 km², donde San Ignacio cubre un área de 52 km², Navachiste 190 km² y Macapule 38 km² (Sánchez-Bon *et al.*, 2010). Las especies de manglar que se encuentran en este sistema son *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus*, cubriendo una superficie de ~ 100 km² (Acosta-Velázquez y Vázquez-Lule, 2009). Los suelos característicos de la zona, y en orden de importancia por su cobertura son los litosoles, el regosol eútrico, el vertisol, el arenosol y el solonchak.



Figura 4. Sistema San Ignacio-Navachiste-Macapule.

Fuente: Glovis (<http://glovis.usgs.gov/>)

SANTA MARÍA-LA REFORMA

Santa María-La Reforma (Figura 5) se localiza entre los municipios de Navolato y Angostura, entre la desembocadura del Río Sinaloa y la Bahía de Altata (delimitación considerada en este estudio: 26.47-26.11° N y 108.45-107.85° O). El sistema lagunar consta de tres cuerpos: Playa Colorada, Bahía Calceñín y Santa María-La Reforma. Se han registrado 153 islas, más de 25 esteros y 18,700 ha de manglares, siendo estos sistemas los productores primarios más significativos del sitio (Ficha Ramsar, <https://www.ramsar.org/es/humedal/mexico>). Las principales actividades económicas son la pesca y la agricultura, así como la acuicultura. El sistema es considerado como sitio Ramsar, y existe un programa de manejo para la Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y Fauna Silvestres Islas del Golfo de California.



Figura 5. Ubicación geográfica del sistema Santa María-La Reforma. Imagen compuesta por las bandas 3, 2, 1, Landsat TM 5 (Path Row 33/43.), obtenida en la fecha 08/11/2011.

CEUTA

Este sistema lagunar se comunica en los límites del Golfo de California y el océano Pacífico por dos aperturas (Figura 6), siendo la más extensa la boca artificial de aproximadamente 500 m de longitud situada en la parte sur del sistema (Alonso-Pérez *et al.*, 2003).

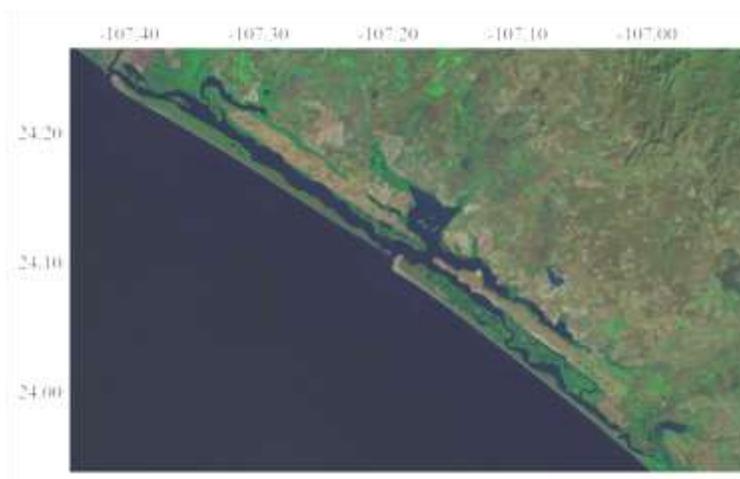


Figura 6. Ubicación geográfica del sistema lagunar Ceuta. Imagen compuesta por las bandas 3, 2, 1, Landsat TM5 (Path Row 32/43.), obtenida en la fecha 01/01/2011.

La zona fue declarada como sitio de reserva y refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de las diversas especies de tortuga marina, y en el 2002 se categorizó como santuario (Ficha RAMSAR, <https://www.ramsar.org/es/humedal/mexico>). El sitio es considerado como una Zona de importancia regional por la Red Hemisférica de Reserva de Aves Playeras (WHSRN) en México.

ESTERO DE URÍAS

El Estero de Urías (Figura 7) se integra por los esteros El Infiernillo, El Astillero, la Sirena y el Estero de Urías, además de otros menores ubicados en la parte meridional (Beltrán-Velarde, 2007). Cuenta con una superficie aproximada de 18 km², con un espejo de agua de ~ 12.8 km², y recibe la influencia de la corriente de salida de masas de agua del Golfo de California (Roden, 1964). De acuerdo con la clasificación de Lankford (1977), puede ser considerado como una laguna costera del tipo III-B con un régimen de marea diurno o semi-diurno, aunque prevalecen las mareas semi-diurnas (Pérez-Verdugo, 2007). Presenta un clima cálido, el más seco de los subhúmedos, con lluvias durante los meses de julio a octubre y con una precipitación anual de 1,915 mm (García, 1989). Por su salinidad, se considera como un sistema estuarino durante las lluvias y anti-estuarino en la estación seca (Pritchard, 1967). Al encontrarse en la zona contigua con el cinturón industrial de Mazatlán (Figura 8), recibe grandes cantidades de aguas residuales provenientes de diferente naturaleza (Del Río-Chuljak, 2003), además de las descargas derivadas de las flotas pesqueras y de las granjas camaronícolas que vierten directo al sistema el agua que utilizan en sus cultivos (Beltrán-Velarde, 2007).

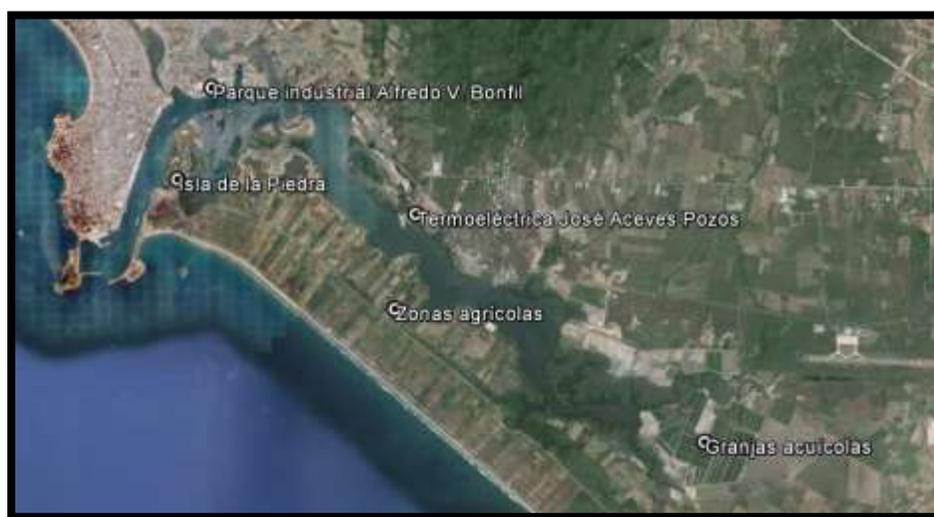


Figura 7. Vista general del Estero de Urías.



a: Flota pesquera en el Parque Bonfil

b: Vista hacia la termoeléctrica José Aceves Pozos.

c: Vista panorámica hacia los campos agrícolas en la sección oeste del Estero de Urías.

Figura 8. Detalle de secciones en el Estero de Urías. Fotografía: M. Manzano-Sarabia.

HUIZACHE-CAIMANERO

Se localiza sobre la planicie costera del sur de Sinaloa, entre los ríos Presidio y Baluarte (Figura 9), entre las coordenadas 23.10 - 22.83°N y 106.31 - 105.95°O. El sistema lagunar cuenta con dos bocas (Barrón y Caimanero) que comunican con el océano Pacífico. Los dos cuerpos que integran el sistema se denominan Huizache y Caimanero. Es un ecosistema que por su valor biológico y socio-económico ha sido objeto de estudio durante los últimos cincuenta años con diversos enfoques, aunque la mayoría han sido realizados de forma puntual o por periodos de tiempo cortos (Del Valle-Lucero, 1989; Ficha Ramsar, <https://www.ramsar.org/es/humedal/mexico>). Sin embargo, es un ecosistema que puede estar modificándose por diferentes factores de disturbio, desde los eventos naturales/climáticos, hasta los asociados al desarrollo económico: cambios de uso de suelo, crecimiento poblacional y tecnológico, como ha sido observado en otros sistemas lagunares del orbe (Drexler, 2001; Kovacs *et al.*, 2001).

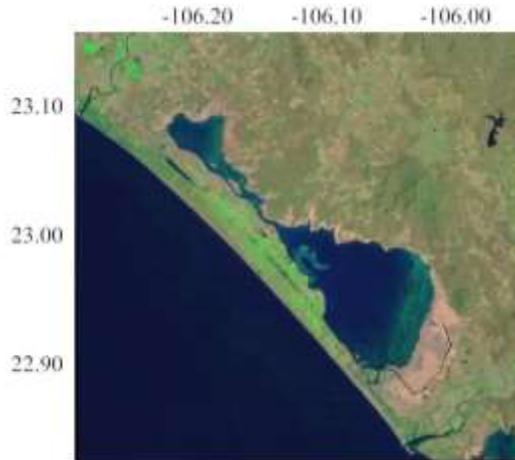


Figura 9. Ubicación geográfica del sistema lagunar Huizache-Caimanero. Path Row 31/44. Imagen compuesta por las bandas 3, 2, 1, Landsat TM 5, obtenida en la fecha 31/03/2011.

Fotografía de campo

Se integró un catálogo de fotografías georreferenciadas con apoyo de diferentes equipos (Nikon D5000 al cual se le instaló un GPS Nikon GP-1^a, Nikon CoolPix AW100 con GPS integrado y Fuji XT-1 con georreferencia vinculada al GPS de un celular vía WiFi). La georreferencia de las imágenes fue revisada y corregida con el programa PIE Studio (<http://www.picmeta.com/products/pie-studio.htm>).

Fotografía aérea

Se utilizó un dron Phantom 2 marca DJI con módulo de telemetría IOSD-Mini, al cual se le integró una cámara GoPro 3+ (Figura 10). Cada vuelo fue realizado con la participación de tres personas: un operador, un receptor de dron y un asistente (cuando las condiciones del sitio lo requerían). Los vuelos fueron realizados a dos alturas promedio, 30 y 100 m.



Figura 10. Detalle del dron utilizado para realizar fotografía aérea.

Fotografía en 360°

Se realizaron recorridos en manglares localizados en las lagunas de San Ignacio-Navachiste-Macapule y Huizache-Caimanero, así como en el Santuario tortuguero El Verde Camacho (zona no considerada en el presente proyecto), con un equipo Trekker de la compañía Google, el cual se integra por 15 cámaras fotográficas y que realizan registros fotográficos simultáneos cada 2 segundos (Figura 11). Actualmente esta información se encuentra disponible al público en la plataforma Street View de Google (Ver Anexo 2) por lo que servirá de referencia para ésta y otras investigaciones, así como para fines de divulgación.

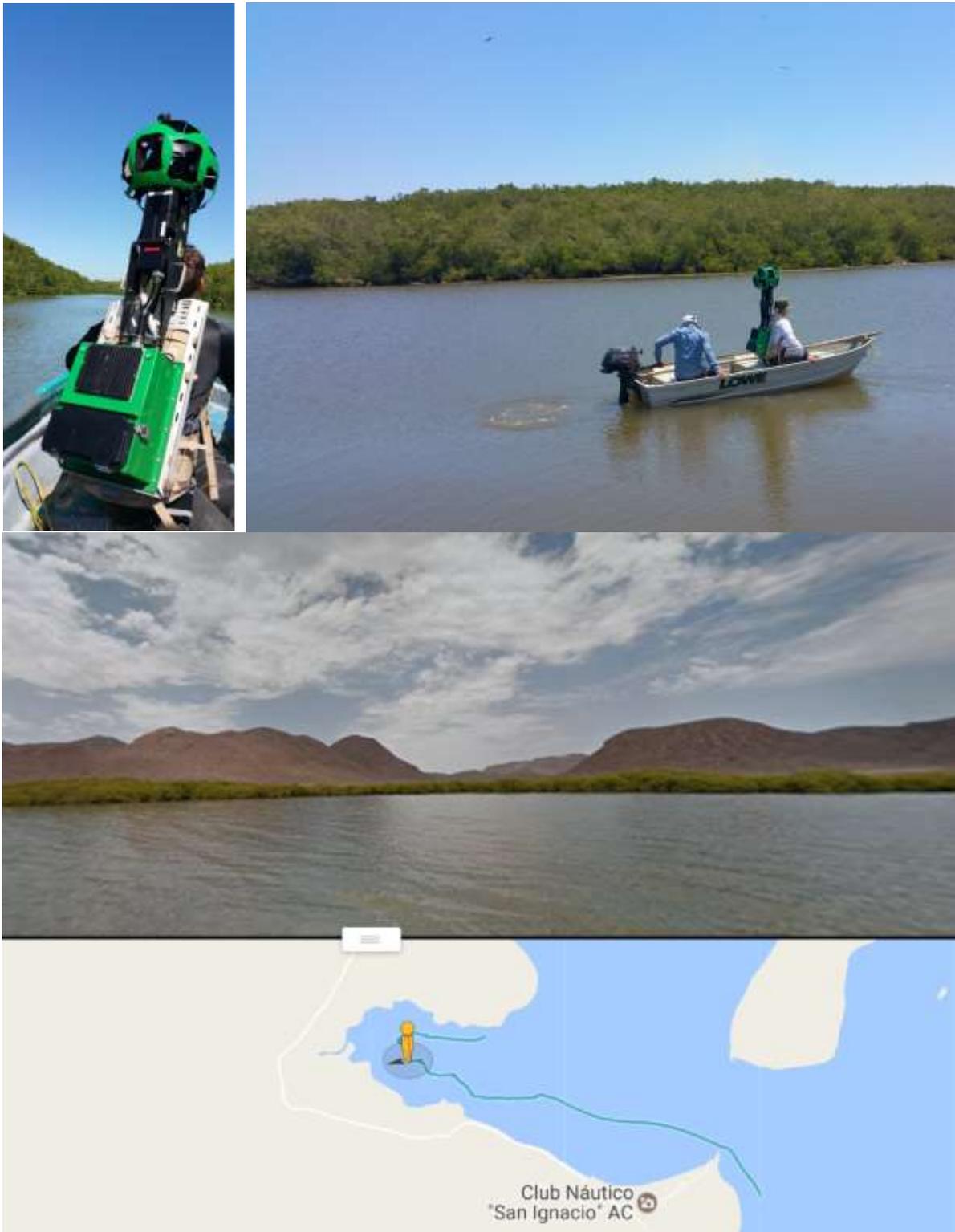


Figura 11. Recorridos realizados en las lagunas San Ignacio-Navachiste-Macapule y Huizache con apoyo del equipo Trekker de Google (panel superior) y ejemplo de vista generada en Street View (panel inferior).

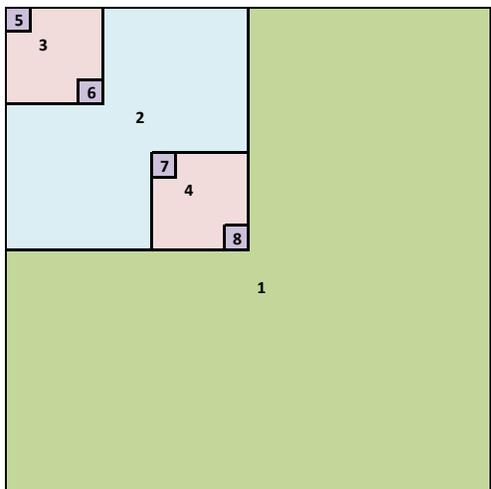
Estructura forestal

Para el estudio de la estructura y caracterización ambiental del manglar en las seis lagunas costeras se definieron para cada una cinco unidades permanentes de muestreo de 20 x 20 m (400 m²). Se utilizó el método modificado propuesto por Valdez-Hernández (2002; Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, Costa Pacífica de México. Madera y Bosques, Número especial: 129-145) y que se describe y esquematiza en la Tabla 1.

Tabla 1. Esquema y descripción de la unidad de muestreo de 20 x 20 m.

Número de parcelas y subparcelas	Tamaño	Identificador	¿Qué se mide?	Observaciones
1 parcela de	20x20 m	1-1	Todos los individuos mayores a 2.5 cm de DAP ₁₃₀	
1 subparcela de	10x10 m	1-2	Todos los individuos mayores a 2.5 cm de DAP ₁₃₀ Todos los individuos menores de 2.5 de DAP ₁₃₀ pero mayores de 1.3 m de altura	Parte de esta información ya se midió en la parcela de 20x20m, solo es necesario replicar la información correspondiente para esta subparcela en la hoja de cálculo correspondiente en el archivo:2 Estructura_regeneration_extraccion_mortalidad_F.xls
2 subparcelas de	4x4 m	1-3a 1-4b	Todos los individuos menores de 2.5 de DAP ₁₃₀ pero mayores de 1.3 m de altura	Parte de esta información ya se midió en la parcela de 10x10m, solo es necesario replicar la información correspondiente para estas subparcelas en la hoja de cálculo correspondiente en el archivo:2 Estructura_regeneration_extraccion_mortalidad_F.xls
4 subparcelas de	1x1 m	1-5c 1-6d 1-7e 1-8f	Abundancia de todos los individuos menores de 1.3m de altura pero mayores a 30 cm de altura Total de individuos menores a 30 cm de	

			altura
--	--	--	--------



La caracterización por tipos de manglar presentes en los sitios de estudio con base en las características fisonómicas se realizó de acuerdo a Lugo y Snedaker (1974).

Diámetro a la altura del pecho (DAP_{130})

El DAP_{130} es una variable importante para cuantificar la estructura y composición de los rodales (Tovilla-Hernández *et al.*, 2013). El registro del DAP_{130} de los individuos permite conocer el desarrollo, condición o estabilidad de la comunidad, siendo además utilizado para calcular el área basal (definida como el área ocupada por los troncos de los árboles de manglar en una unidad espacial determinada). El DAP_{130} se midió a una altura de 130 cm (DAP_{130}) de los tallos de los árboles y se utilizó una cinta diamétrica.

Altura total del arbolado

Es una variable indicadora del desarrollo de los bosques de manglar.

Altura de la raíz:

Este atributo fue medido solamente en *Rhizophora mangle*.

Altura fuste limpio

Distancia que existe a partir de la base del árbol hasta la base de la copa, es decir el fuste libre de ramas.

Área basal (AB)

Representa el área en m² que ocupa la sección transversal del conjunto de árboles de un rodal que se distribuyen en una hectárea. Se considera uno de los parámetros estructurales más indicativo del desarrollo de cualquier rodal.

Densidad (fustes/ha) = Número total de fustes/ área total muestreada X 10,000

Índice de Valor de importancia

El Índice de valor de importancia (I.V.I.) se utiliza para identificar la importancia de las especies en cada unidad de muestreo. Se calcula a partir de la sumatoria del porcentaje de densidad, frecuencia y dominancia. Es un método efectivo para indicar la importancia relativa de cada especie en una unidad de muestreo y puede estar en un intervalo entre 0 y 300 cuando se reporta en valores absolutos (Cottam, 1949; Curtis y McIntosh, 1951).

Índice de Valor de Importancia = Densidad relativa + Frecuencia relativa + Dominancia relativa de la especie *i*, donde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad de la especie } i}{\text{Densidad total}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de especies } i}{\Sigma \text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Área basal de la especie } i}{\Sigma \text{Área basal de todas las especies}} \times 100$$

Índice de complejidad de Holdridge:

Este índice se utiliza para determinar el grado de desarrollo estructural de los bosques de manglar y se calcula con la ecuación:

$$\text{ICH} = (d)(a)(h)(s)/10000$$

d= Número de individuos ha⁻¹

s= Número de especies

h= Altura del rodal (m)

a= Área basal (m² ha⁻¹)

El ICH tiene una escala de 0-100, donde la complejidad se incrementa a mayores valores del índice.

Diámetro promedio de la copa

Es una medición importante que proporciona información sobre la densidad de árboles por área, aunque la medición se dificulta por la irregularidad, altura y mezcla de la copa de los árboles. En el presente estudio se midió el eje mayor y menor, donde el promedio de estas dos mediciones se consideró como el diámetro de copa (Cintron y Shaeffer-Novelli, 1984).

Clase de corona

Existen diferencias del tipo y tamaño de corona o copa en zonas de árboles de la misma edad o del mismo grupo. El tipo de corona se clasificó como dominante, co-dominante, intermedia, suprimida o en su defecto, se indicó si se trata de individuos tipo arbustivo (ver descripción en Anexo 1).

Frecuencia de tallas

La frecuencia de tallas se determinó a partir de la regla de Sturges (Zar, 1996):

$K = 1 + 3.322 (\text{Log}_{10} \cdot n)$. Para determinar la amplitud de la clase: $C = I / K$ donde: $I =$ Intervalo de clase = (Valor mayor – valor menor) y $n =$ número de individuos.

Regeneración potencial

Para determinar la regeneración potencial, se siguió el protocolo de López-Portillo (2012), considerando como plántulas a los individuos que presenten una altura menor a 0.5 m, y juveniles a aquellos que registren una altura igual o mayor a 0.5 m y un diámetro menor a 2.5 cm. Los atributos que se midieron fueron densidad y altura.

Densidad: conteo de todos los organismos (plántulas y juveniles) presentes dentro de los cuadrantes y se expresó por unidad de área.

Altura: La altura se midió con una cinta métrica y/o hipsómetro Nikon Forestry 550.

Extracción:

Se anotaron las características de las extracciones observadas en las unidades de muestreo (especie y el diámetro a la altura del corte).

Mortalidad:

Se registró la especie, DAP₁₃₀ y causa de muerte cuando fue posible.

Sedimentos

El análisis de sedimentos fue realizado siguiendo diferentes métodos, los cuales se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos de extracción y medición para el análisis de sedimentos.

ELEMENTO	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
N-NO ₃	Ácido Acético 2 %	Colorimetría (Brucina Modificada)
P-PO ₄	Olsen pH < 7 y Bray pH > 6.50	Colorimetría (Molibdato de Amonio)
S	Ácido Acético 2 %	Colorimetría (Turbidimetrico (BaCl ₂))
Na, K, Ca, Mg	Acetato de Amonio	Espectrofotometría de Absorción Atómica.
Fe, Cu, Zn, Mn	DTPA	Espectrofotometría de Absorción Atómica
TEXTURA	Método Hidrómetro de Bouyoucos.	
M.O.	Walkley y Black	

Producción de hojarasca

Para determinar el ciclo de producción de hojarasca del manglar, se siguió la metodología de recolección *in situ* colocando canastas con un área de 0.25 m² (López-Portillo y Ezcurra, 1985; Arreola *et al.*, 2004; Félix-Pico *et al.*, 2006; Agraz-Hernández *et al.*, 2011). En cada sitio de estudio se colocaron 3 canastas, las cuales se construyeron con tubos de PVC para elaborar el marco (0.5 m x 0.5 m) y fondo con malla de polietileno de 1 mm² de abertura. Las muestras de material foliar se guardaron en bolsas de plástico etiquetadas con los datos de fecha de recolección, número de canasta y sitio, para ser transportadas al laboratorio. Para cada una de las muestras de hojarasca se realizó la separación de los componentes de hojarasca (hoja, rama, flor y propágulo) y fueron colocadas en charolas de aluminio y posteriormente en una estufa de convección a una temperatura de 75°C por 48 horas o hasta obtener un peso constante, que es obtenido por separado en una balanza analítica (OHAUS, Scout II).

Los datos se expresaron en g m² d⁻¹ teniendo en cuenta el peso seco, el área de cada trampa y el número de días transcurridos entre cada recolección (Félix-Pico, 2006). Se integró la información en los formatos establecidos y se elaboraron gráficas comparativas.

VARIABLES AMBIENTALES

Oceanografía satelital

Se obtuvieron imágenes satelitales de clorofila *a* y temperatura superficial del mar derivadas de múltiples sensores remotos con 1 km de resolución de pixel (sensores OCTS, SeaWiFS, MODIS-Terra, MODIS-Aqua, VIIRS). Las series de tiempo mensuales fueron elaboradas para áreas correspondientes a la plataforma continental adyacente a las lagunas costeras consideradas en el proyecto (Figura 12).

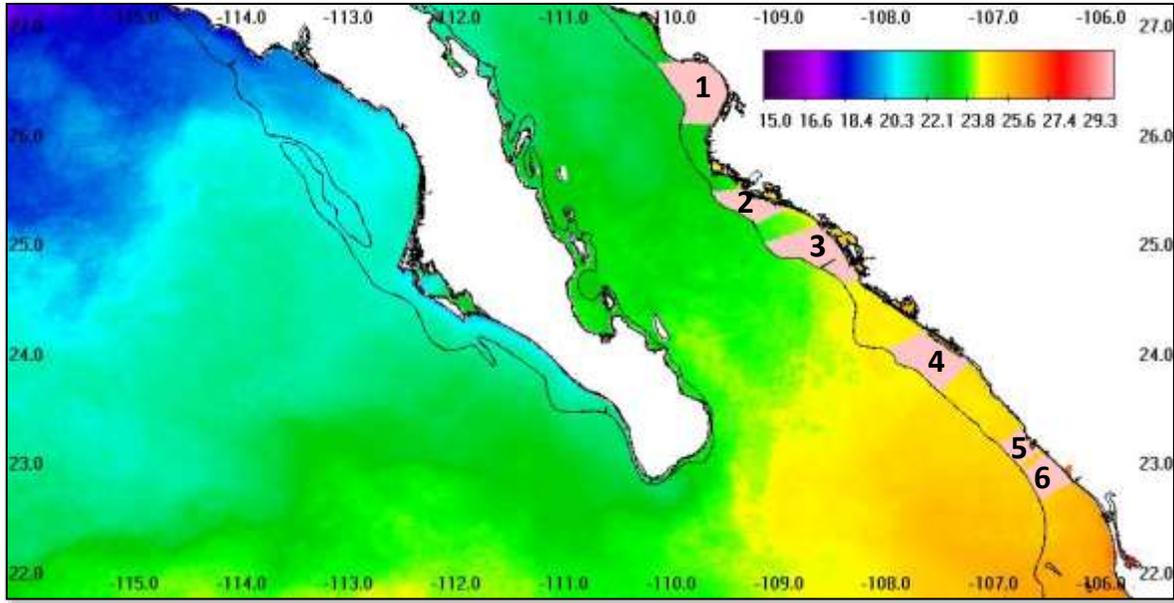


Figura 12. Áreas seleccionadas (color rosa) en la zona costera adyacente a cada sistema lagunar (1: Agiabampo, 2: San Ignacio-Navachiste-Macapule, 3: Santa María-La Reforma, 4: Ceuta, 5: Estero de Urías y 6: Huizache-Caimanero). El contorno negro representa el límite de la plataforma continental. Imagen satelital derivada de los sensores MODIS-Terra, MODIS-Aqua y VIIRS (Marzo de 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

ESTRUCTURA FORESTAL

AGIABAMPO

Se realizó el estudio de estructura forestal de manglares en cinco parcelas ubicadas en la laguna de Agiabampo, Sinaloa (Figura 2). La comparación estadística del DAP_{130} entre parcelas y en las dos etapas de muestreo en Agiabampo (Figura 13) mostró que existen diferencias significativas entre etapas en el caso de las parcelas ID 2, 3 y 5. El DAP_{130} mayor fue observado en las parcelas ID 3 y 5 durante la primer etapa, y en la ID 5 durante la segunda etapa, mientras que el menor valor promedio se registró en la parcela 2 en la segunda etapa, la cual se caracterizó por ser de tipo arbustivo (monoespecífico de *Avicennia germinans*). Por otra parte, los individuos con mayor altura (Figura 14) y diámetro promedio de corona (Figura 15) se observó en la parcela ID 5 en ambas etapas.

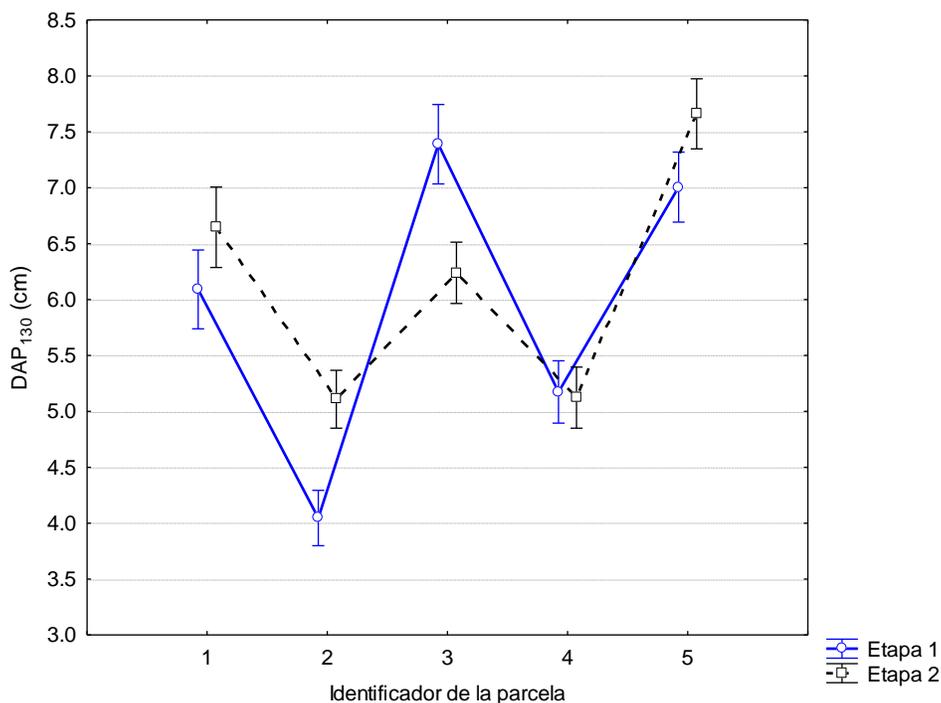


Figura 13. Comparación del DAP_{130} promedio en las parcelas establecidas en Agiabampo, Sinaloa, durante los dos periodos de muestreo. Las barras muestran el error estándar asociado.

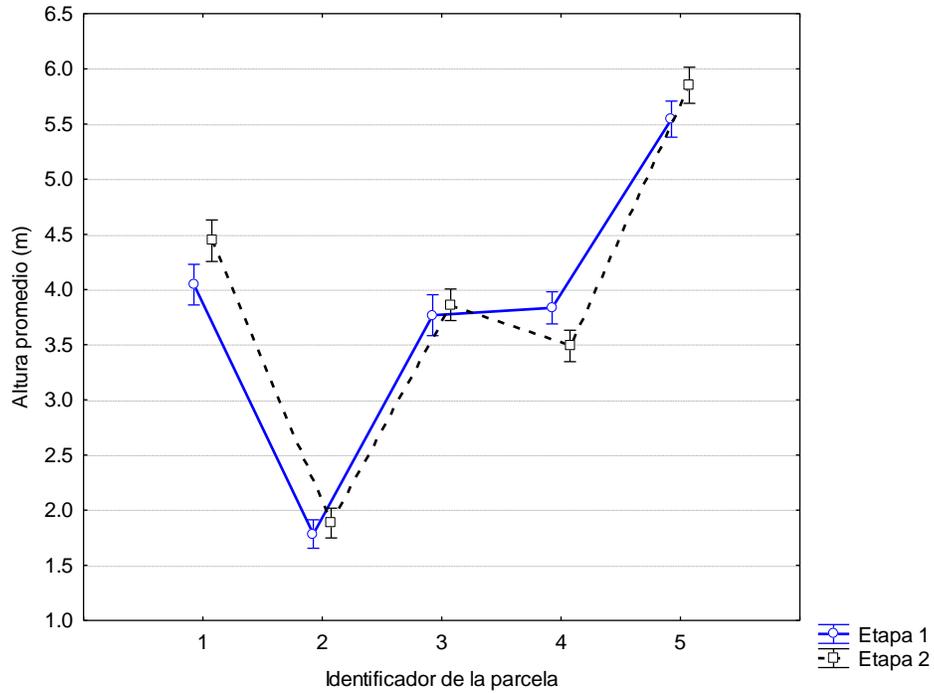


Figura 14. Altura promedio de las parcelas analizadas en Agiabampo, Sinaloa, en ambas etapas de muestreo. Las barras muestran el error estándar asociado.

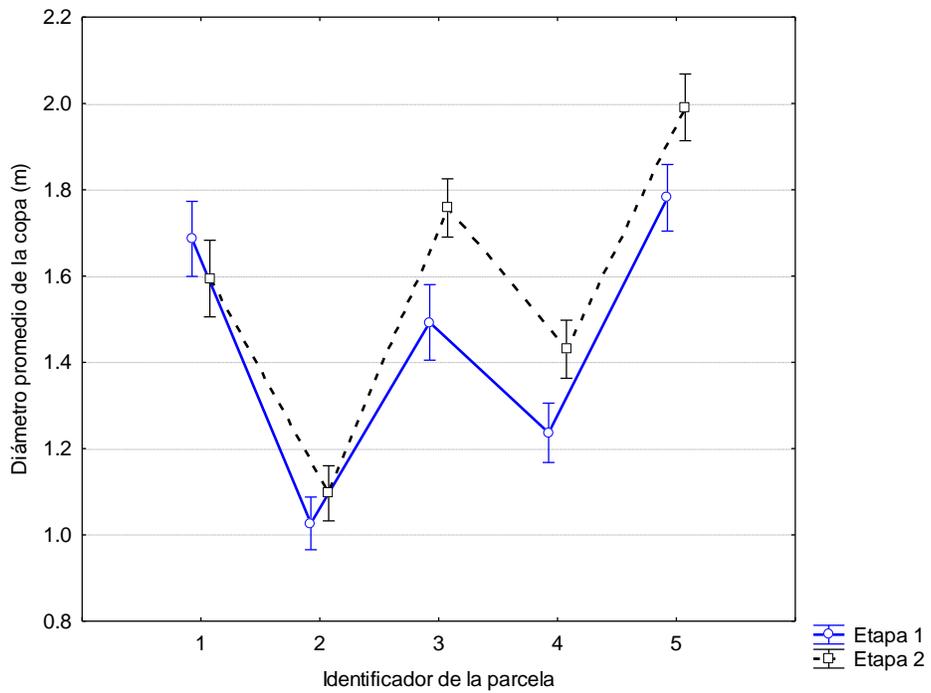


Figura 15. Comparación del diámetro promedio de la corona (m) entre parcelas localizadas en Agiabampo, Sinaloa, en las dos etapas de muestreo. Las barras muestran el error estándar asociado.

A continuación se muestra la descripción de cada parcela, así como la de algunas de las variables más características: DAP_{130} , altura promedio y diámetro promedio de la corona.

PARCELA AGIABAMPO_1 (ID 1)

La parcela corresponde a un bosque mixto (Figuras 16,17,18), con dominancia de *A. germinans*. En el borde se observa principalmente a *R. mangle*, mientras que en la parte posterior se encuentra una zona con dominancia de cactáceas. En el sitio de estudio –que corresponde a un campamento pesquero temporal- se observaron caminos de brecha y acumulación moderada de basura en la primera etapa, con un incremento en la segunda. La coordenada central de la parcela es 26.298961° , -109.235305° .



Figura 16. Ubicación de la parcela Agiabampo_1 (ID 1) ubicada en el sistema lagunar Agiabampo. Coordenada central: 26.298961° , -109.235305° . Imagen tomada de Google Earth Inc.



Figura 17. Detalle del dosel en la parcela Agiabampo_1.



a



b



Figura 18. a) Instalación de canasta en la parcela 1 en Agiabampo, b) Registro de variables ambientales a nivel superficial e intersticial, c) Detalle de la parcela, d) Registro de variables ambientales en el canal contiguo.

De acuerdo a la información analizada por especie (Tabla 3), durante la primer etapa de estudio, *A. germinans* fue la especie dominante (96.8%) y con mayor valor de importancia (291.3), seguida de *L. racemosa* (3.2%). En la segunda etapa se observó una dominancia absoluta de *A. germinans* con un total de 69 individuos. La densidad en la primera etapa fue $1,800 \text{ individuos} \cdot \text{ha}^{-1}$ y de $1,725 \text{ individuos} \cdot \text{ha}^{-1}$ en la segunda etapa. La altura y DAP_{130} promedio en ambas etapas, fue $\sim 4 \text{ m}$ y $\sim 6 \text{ cm}$, respectivamente. El Índice de complejidad de Holdridge mostró valores bajos en ambos casos, sugiriendo un desarrollo estructural pobre. La parcela ID1, se encuentra en una zona que es utilizada como campamento temporal por pescadores locales. No se observó extracción en la primera etapa, pero sí mortalidad ($n=7$), registrando el mayor valor en comparación con el resto de las parcelas analizadas en este sistema lagunar, siendo asociada principalmente a causas naturales (ver la sección de mortalidad). En la segunda etapa, no se registró extracción pero sí una mayor mortalidad ($n=20$; 22% del total de individuos dentro de la parcela $20 \times 20 \text{ m}$), cuatro de ellos por tala y el resto por causas naturales. Se observó un tamaño promedio de los neumatóforos de 20 cm .

Tabla. 3. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Agiabampo_1 (parcela ID 1) durante la primera etapa.

Parcela ID=1; Agiabampo	Etapas 1		Etapas 2
Especie	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>
Número de individuos (n)	70	2	69
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	6.06	7.15	6.6
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.97	1.20	3.19
Altura total promedio (m)	4.02	5	4.44
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.60	1.41	2.09
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.67	0.55	0.74
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.32	0.07	0.41
Diámetro promedio de la copa (m)	3.34	4.65	3.18
Área basal (m ²)	0.25	0.01	0.29
Área basal (m ² /ha)	6.25	0.20	0.11
Densidad (ind/unidad de área)	0.175	0.005	0.1725
Densidad (ind/ha)	1750	50	1725
Densidad relativa	97.2	2.8	100
Frecuencia relativa	97.2	2.8	100
Dominancia relativa	96.8	3.2	100
Valor de importancia	291.3	8.7	300
Índice de complejidad de Holdridge	4.39	0.01	5.63

PARCELA AGIABAMPO_2 (ID 2)

La parcela se definió con base en la coordenada central 26.339607°, -109.212848° (Figuras 19, 20). Se observó manglar arbustivo con dominancia de *A. germinans* (100%) en el primer muestreo (2016), con registros de *R. mangle* en el margen del canal. Se encuentra sobre una barra arenosa y es contigua a un pequeño cuerpo de agua, así como a un camino de terracería.



Figura 19. Ubicación de la parcela Agiabampo_2 (ID 2) ubicada en el sistema lagunar Agiabampo. Coordenada central: 26.339607°, -109.212848°



Figura 20. Detalle de la ubicación de la parcela Agiabampo_2 (ID 2) ubicada en el sistema lagunar Agiabampo. Coordenada central: 26.339607°, -109.212848°.

En las áreas aledañas a la parcela ID 2 se observaron parches de mangle muerto en ambas etapas, correspondiente a la especie *R. mangle* (Figura 21), lo cual pudo estar asociado a la presencia de frentes fríos durante el invierno 2014-2015, los cuales causaron temperaturas extremas/bajas en Agiabampo (Manzano –Sarabia *et al.*, 2018).



Figura 21. Fotografía aérea mostrando zonas con manglar muerto correspondiente a *R. mangle* (*) en zonas contiguas a la parcela Agiabampo_2.

En la segunda etapa se identificaron áreas adicionales con manglar muerto en el margen interior de la parcela (Figura 22).



Figura 22. Mortalidad observada en el margen interior de la parcela ID 2.

En el caso de la parcela ID 2 en Agiabampo (Tabla 4), es monoespecífica de *A. germinans* (n=146), con un DAP₁₃₀ y altura promedio de ~4 cm y ~1.8 m, respectivamente durante la primera etapa. Se registró una densidad de 3,650 individuos por hectárea, con un ICH bajo (3.4). El AB observada fue de 5.2 m² ha⁻¹. En la segunda etapa (enero, 2018) se mantuvo la dominancia de *A. germinans* (100% con una n=133 individuos), con un DAP₁₃₀ promedio de 5.1 cm, una altura promedio de 1.9 m y una densidad de 3,325 individuos por hectárea. La altura promedio de los neumatóforos observada fue de 15 cm.

Tabla. 4. Resumen general del análisis estadístico de las variables estructurales de la parcela ID 2 (primera y segunda etapa).

Parcela ID=2; Agiabampo	Etapas 1	Etapas 2
Especie	<i>Ag</i>	<i>Ag</i>
Número de individuos (n)	146	133
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.05	5.11
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.32	1.95
Altura total promedio (m)	1.78	1.88
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.52	1.08
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.47	0.22
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	1.47	0.15
Diámetro promedio de la copa (m)	2.05	2.20
Área basal (m ²)	0.21	0.31

Área basal (m ² /ha)	5.19	7.80
Densidad (ind/unidad de área)	0.365	0.3325
Densidad (ind/ha)	3650	3325
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	3.38	4.88

PARCELA AGIABAMPO_3 (ID 3)

En la primera etapa de estudio, en la parcela Agiabampo ID 3 (Figuras 23, 24; coordenada central 26.340359°, -109.211777°) se registró una dominancia del 100% de *A. germinans*, mientras que en las áreas contiguas se observó la presencia de *R. mangle*. Se observaron neumatóforos con una altura promedio de 25 cm. Nivel de inundación observada de 0.70 m (de acuerdo a la marca de agua en la corteza de los árboles). Por otra parte, la información del nivel de agua registrada con un datalogger, mostró que el promedio para el periodo de abril de 2016 a enero de 2018 fue de 0.20 m (ver sección Data loggers para detalles adicionales). En general, el sitio se encuentra bien conservado.



Figura 23. Ubicación de la parcela Agiabampo_3. Coordenada central 26.340359°, -109.211777°). Imagen tomada de Google Earth Inc.



Figura 24. Detalle de la parcela Agiabampo_3.

Con base en el análisis de estructura forestal (Tabla 5), se registró un DAP_{130} promedio de 7.39 cm y una altura promedio de 3.77 m en la primera etapa. El AB promedio fue de $9.22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y una densidad promedio de $1,775 \text{ individuos ha}^{-1}$. El valor de importancia fue de 300 mientras que el Índice de Complejidad de Holdridge sugiere un bajo desarrollo estructural (6.16). En la segunda etapa, el total de los individuos correspondieron a la especie *A. germinans*, con un DAP_{130} promedio de 6.2 cm, y una altura promedio de 3.9 m. La densidad promedio observada fue de 2,975 individuos por hectárea.

Tabla. 5. Resumen del análisis de estructura forestal en la parcela Agiabampo_3 (parcela ID 3).

Parcela ID=3; Agiabampo	Etapas 1	Etapas 2
Especie	<i>Ag</i>	<i>Ag</i>
Número de individuos (n)	71	119
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	7.39	6.24
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	3.43	3.21
Altura total promedio (m)	3.77	3.86
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.15	1.19
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.27	1.55
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.43	0.34
Diámetro promedio de la copa (m)	2.98	3.52
Área basal (m ²)	0.37	0.46
Área basal (m ² /ha)	9.22	11.48
Densidad (ind/unidad de área)	0.1775	0.2975
Densidad (ind/ha)	1775	2975
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	6.16	13.18

PARCELA AGIABAMPO_4 (ID 4)

La parcela ID 4 en Agiabampo (Figura 25), es monoespecífica de *A. germinans* en ambas etapas de estudio. En el primer muestreo, el DAP₁₃₀ promedio observado fue de 5.2 cm, con un altura promedio de 3.8 m. El AB calculada fue de 7.5 m² ha⁻¹, con una densidad de 2,875 individuos ha⁻¹. El ICH calculado fue bajo (8.3). En la última etapa de estudio, la dominancia de *A. germinans* se mantuvo en la parcela, con un DAP₁₃₀ promedio de 5.1 cm

y una altura promedio de 3.5 m. La densidad calculada fue de 3,000 individuos ha^{-1} . El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 20 cm dentro de la parcela. No hubo extracción, y la mortalidad se incrementó del primer al segundo muestreo. Durante la primera etapa fueron observados cuatro individuos muertos dentro de la parcela de 20 x 20 m (DAP_{130} 6.25 cm), mientras que en la última aumentó a 9 individuos con un DAP_{130} promedio de 7.6 cm.



Figura 25. Vista aérea de la parcela Agiabampo_4 y zonas contiguas.
Coordenada central: 26.251798°;-109.156807°

Tabla.6. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Agiabampo_4 (parcela ID 4).

Parcela ID=4; Agiabampo	Etapa 1	Etapa 2
Especie	<i>Ag</i>	<i>Ag</i>
Número de individuos (n)	115	120
DAP promedio (cm)	5.17	5.12
Desviación estándar (cm) del DAP promedio	2.59	2.49
Altura total promedio (m)	3.83	3.48
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.39	1.51
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.69	0.64
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.36	0.39
Diámetro promedio de la copa (m)	2.47	2.86
Área basal (m ²)	0.3	0.31
Área basal (m ² /ha)	7.55	7.64
Densidad (ind/unidad de área)	0.2875	0.30
Densidad (ind/ha)	2875	3000
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	8.32	7.97

PARCELA AGIABAMPO_5 (ID 5)

La parcela ID 5 en Agiabampo (Figura 26) es monoespecífica de *A. germinans*, con un DAP₁₃₀ promedio de 7 cm, altura promedio de 5.54 m, AB estimada de 12.1 m² ha⁻¹ y una densidad de 2,275 ind ha⁻¹ (Tabla 7). El ICH (15.31) sugiere una complejidad estructural baja. La parcela registró un reclutamiento bajo, principalmente durante la primera etapa (ver sección *Densidad de plántulas* para información complementaria). La altura promedio de los neumatóforos fue de 12 cm. La coordenada central es 26.248229°;-109.118170°.

En la segunda etapa de muestreo *A. germinans* continuó siendo la especie dominante (100%), con un DAP₁₃₀ y altura promedio de 7.6 cm y 5.8 m, respectivamente. Una densidad de 2,275 individuos ha⁻¹. Se registraron dos individuos con extracción con un diámetro promedio a la altura del corte de 5.9 cm. En ambas etapas, la mortalidad registrada fue de un solo individuo en cada una y asociada a causas naturales. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 25 cm. En la parcela se observó acumulación de basura tipo PET. En ambas etapas se observó abundante materia orgánica que podría derivarse de actividades de dragado que se estaban realizando. En las inmediaciones se encuentran instalaciones acuícolas.

Tabla 7. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Agiabampo_5 (Parcela ID 5).

Parcela ID=5; Agiabampo	Etapas 1	Etapas 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	91	91
DAP promedio (cm)	7.01	7.61
Desviación estándar (cm) del DAP promedio	4.37	4.46
Altura total promedio (m)	5.54	5.85
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	2.35	2.49
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.76	1.08
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.49	0.62
Diámetro promedio de la copa (m)	3.56	3.98
Área basal (m ²)	0.49	0.56
Área basal (m ² /ha)	12.14	13.94
Densidad (ind/unidad de área)	0.2275	0.2275
Densidad (ind/ha)	2275	2275
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	15.31	18.55



Figura 26. Detalle frontal de la parcela ID 5 en Agiabampo.

SAN IGNACIO-NAVACHISTE-MACAPULE

De acuerdo al estudio de estructura forestal del manglar realizado en las cinco parcelas ubicadas en este sistema lagunar, se observaron cambios en los valores del DAP_{130} entre los dos periodos de estudio, aunque sin diferencias significativas, con excepción de la parcela ID 7 (Figura 27). El valor promedio de la altura registró una disminución en las parcelas con excepción en Macapule (ID 10), ya que se observaron coronas con ramas principales con escaso follaje. En la parcela ID 10, el número de individuos aumentó de 2015 ($n=149$) a 2018 ($n=160$). Los individuos se caracterizaron por presentar corona tipo suprimida y se observaron diferencias significativas en el diámetro promedio de ésta. En general es un sitio en buen estado de conservación, los valores de mortalidad fueron bajos en ambas etapas (ver sección Mortalidad).

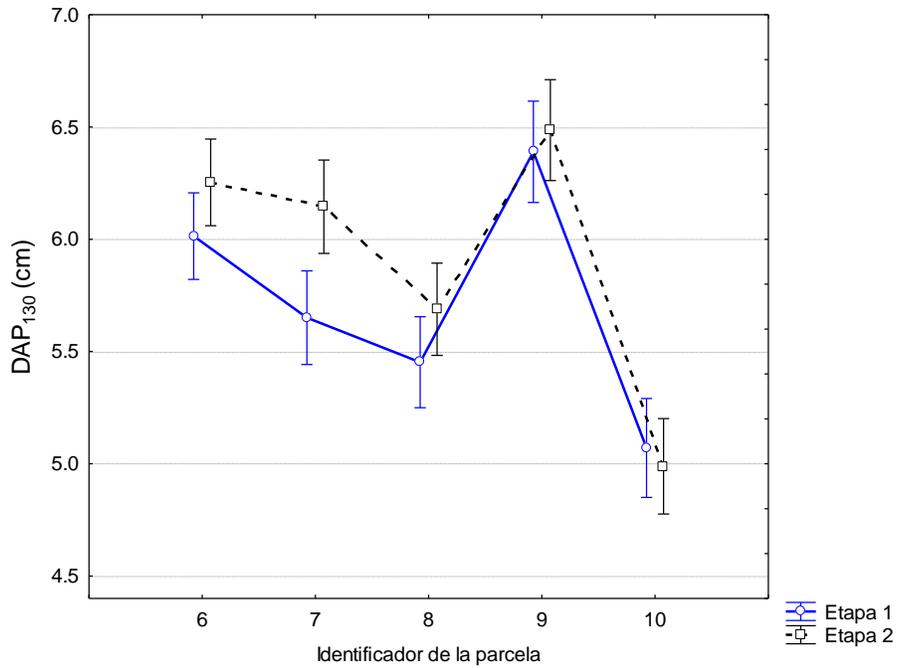


Figura 27. Comparación del DAP₁₃₀ promedio (cm) en las parcelas realizadas en San Ignacio-Navachiste-Macapule. Las barras indican el error estándar asociado.

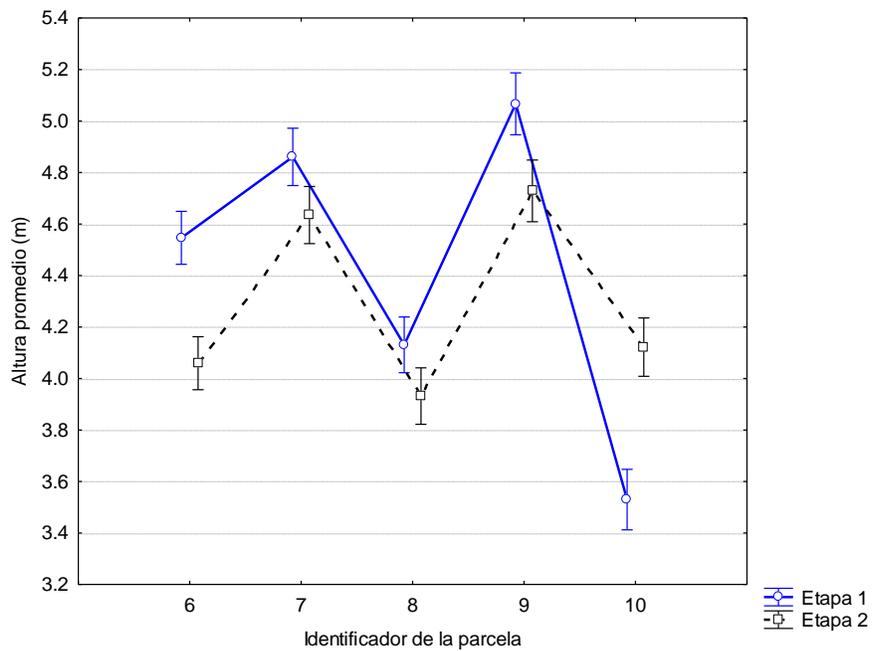


Figura 28. Altura promedio entre parcelas localizadas en el sistema San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

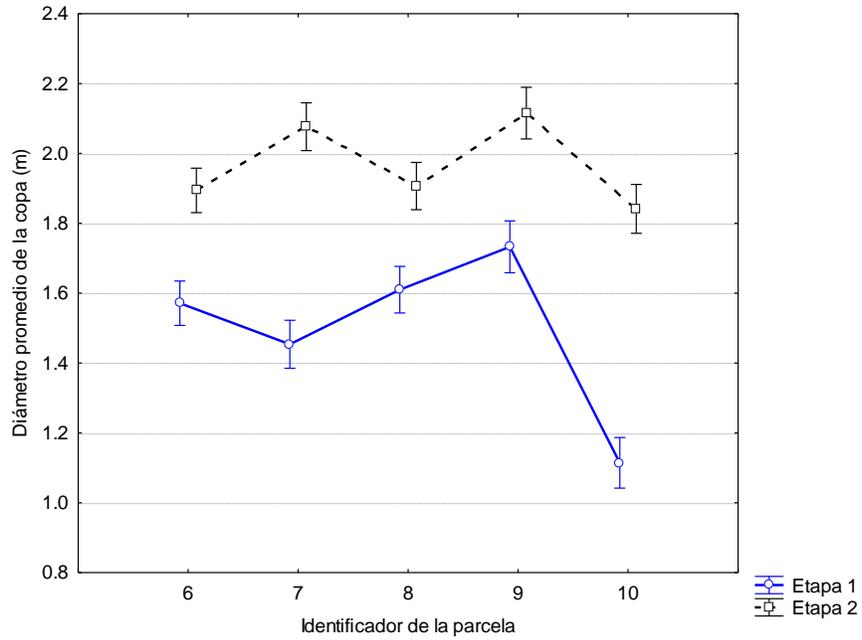


Figura 29. Comparación del diámetro promedio de la corona (m) entre parcelas localizadas en San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

A continuación se muestran los resultados del análisis de estructura forestal para cada parcela considerando algunas de las variables más características.

PARCELA SAN IGNACIO_1 (ID 6)

La parcela se encuentra localizada en la laguna de San Ignacio, con coordenada central 25.472085°, -108.951791° (Figuras 30, 31).

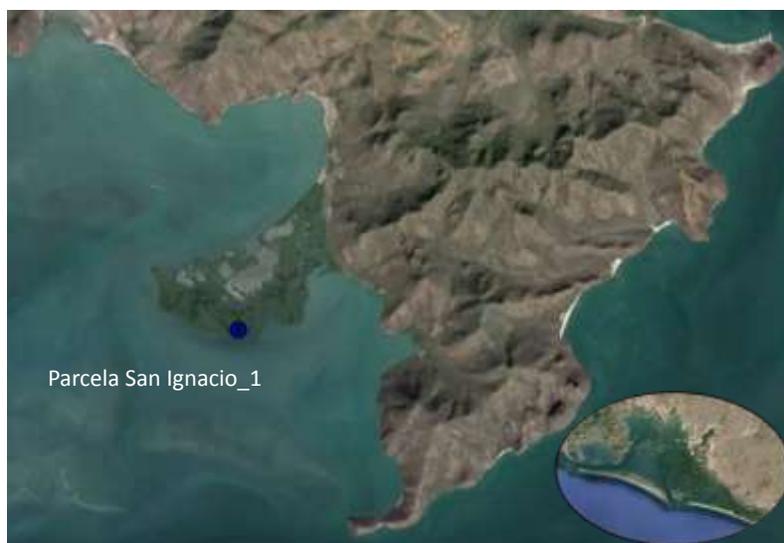


Figura 30. Localización del sitio San Ignacio_1 (parcela Id 6; coordenada central 25.472085°, -108.951791°).



Figura 31. Vista aérea de la parcela San Ignacio_1 (ID 6).

En la primera etapa de muestreo, se observó una dominancia del mangle negro *A. germinans* dentro de la parcela de 20 x 20 m (n=194) y mangle rojo *R. mangle* hacia los márgenes laterales (Figuras 31, 32). No se observó regeneración potencial (ver sección *Densidad de plántulas*). Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 6.01 cm y altura promedio de 4.5 m y una densidad de 4,850 ind ha⁻¹. No se observó perturbación al interior de la parcela. Se observaron individuos con clase de corona intermedia (~60%), suprimida (~15%), co-

dominante (15%) y dominante (~10%). En la última etapa, se mantuvo la dominancia de *A. germinans* (n=195, densidad de 4,875 ind ha⁻¹), observándose individuos muertos de esta misma especie en el borde (Figura 32). Se observó un DAP₁₃₀ promedio de 6.3 cm y una altura promedio de 4.1 m. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 25 cm. En ambos periodos se observó mortalidad de individuos, 5 y 6, en 2016 y 2018, respectivamente, principalmente por causas naturales.

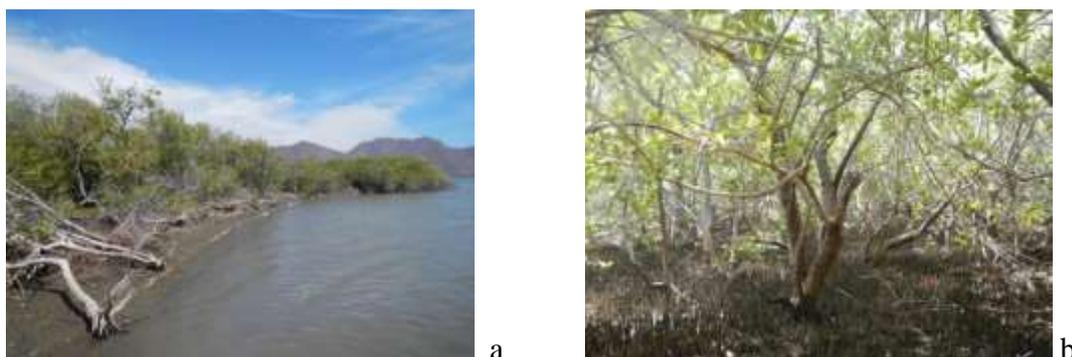


Figura 32. a) Borde del sitio de estudio. b) Detalle de la estructura forestal en la parcela.

Tabla 8. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela San Ignacio_1 (Parcela ID 6).

Parcela ID=6; San Ignacio_1	Etapa 1	Etapa 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	194	195
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	6.01	6.25
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.80	3.30
Altura total promedio (m)	4.55	4.06
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.68	1.23
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.79	1.06
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.44	0.90
Diámetro promedio de la copa (m)	3.14	3.78
Área basal (m ²)	0.67	0.76
Área basal (m ² /ha)	16.82	18.97
Densidad (ind/unidad de área)	0.485	0.4875
Densidad (ind/ha)	4850	4875
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	37.10	37.54

PARCELA SAN IGNACIO_2 (ID 7)

La parcela cuenta con coordenada central 25.438253° , -108.980319° (Figura 33). El tipo fisionómico es borde (Figura 34), correspondiendo a un bosque mixto de *L. racemosa* (66%) y *A. germinans* (~34%) en la primera etapa de estudio. El DAP₁₃₀ promedio fue de 5.65 cm, la altura promedio de 4.86 m, y una densidad de 4,150 individuos por hectárea. Se observó una mortalidad aproximada del 15% por causas naturales. La altura promedio de los neumatóforos fue de 18 cm y un nivel de inundación observado de ~20 cm. En la segunda etapa, prevaleció la proporción de *L. racemosa* (67%) y *A. germinans* (33%), con un DAP₁₃₀ promedio de 6.1 cm y una altura promedio de 4.6 m. En esta etapa la densidad estimada fue de 4,200 individuos por hectárea. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 20 cm, con un nivel de inundación observada de ~30 cm. En ambos periodos se observó baja mortalidad (dos individuos cada año dentro de la parcela 20 x 20 m).



Figura 33. Ubicación de la parcela San Ignacio_2 (ID 7). Imagen tomada de Google Earth Inc. Coordenada central: 25.438253° , -108.980319° .

Tabla 9. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela San Ignacio_2 (Parcela ID 7).

Parcela ID=7; San Ignacio 2	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	56	110	55	113
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	6.56	5.19	7.16	5.66
Desviación estandar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.91	1.59	4.08	2.09
Altura total promedio (m)	4.61	4.99	4.37	4.75
Desviación estandar (m) de la altura total promedio	1.52	1.24	1.39	0.97
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.88	0.82	1.02	0.71
Desviación estandar (m) de la altura del fuste limpio	0.36	0.42	0.55	0.46
Diámetro promedio de la copa (m)	3.48	2.61	4.68	3.90
Área basal (m ²)	0.23	0.25	0.28	0.32
Área basal (m ² /ha)	5.65	6.35	7.09	8.08
Densidad (ind/unidad de área)	0.14	0.275	0.1375	0.2825
Densidad (ind/ha)	1400	2750	1375	2825
Densidad relativa	33.73	66.27	32.74	67.26
Frecuencia relativa	33.73	66.27	32.74	67.26
Dominancia relativa	47.11	52.89	46.75	53.25
Valor de importancia	115	185	112	188
Índice de complejidad de Holdridge	3.65	8.71	4.26	10.84



Figura 34. Detalle de la parcela San Ignacio_2 (ID 7).

PARCELA NAVACHISTE_1 (ID 8)

La parcela se ubicó en la coordenada central 25.511135°, -108.902521° (Figuras 35, 36). En el 2016, se observó dominancia de *A. germinans* (98.3%) y en menor grado de *R. mangle* (1.7%). El DAP₁₃₀ promedio fue de 5.45 cm (2016), con una altura promedio de 4.13 m. Se registró una densidad promedio de 4,400 individuos ha⁻¹. En el segundo periodo de estudio, se observó dominancia de *A. germinans* (96.6%), seguido de *R. mangle* (1.7%) y en menor proporción *L. racemosa* (0.6%). Se observó mangle rojo en el borde de la parcela y numerosas plántulas de *A. germinans* fuera de la parcela (~40 por metro cuadrado). Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 5.68 cm y una altura promedio de 3.93 m. Tamaño promedio de neumatóforos de 10 cm, con un nivel de inundación de 40 cm. Durante la primera etapa no se observó mortalidad, mientras que en la segunda se observaron cuatro individuos muertos dentro de la parcela 20 x 20 m con un DAP₁₃₀ promedio de 5.5 cm, todos por causas naturales. En general la parcela se encuentra en buen estado de conservación (Figura 37).



Figura 35. Localización de la parcela Navachiste_1 (ID 8). Imagen tomada de Google Earth Inc. Coordenada central: 25.511135°, -108.902521°.



Figura 36. Vista aérea de la zona de estudio. Parcela Navachiste_1 (ID 8).



Figura 37. a) Detalle de la zona frontal del sitio donde se ubicó la parcela Navachiste_1 (ID 8), b) Detalle del interior de la parcela, c) *Rhizophora mangle*, d) Zona frontal.

Tabla 10. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Navachiste_1 (Parcela ID 8).

Parcela ID=8; Navachiste_1	Etapa 1		Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Rm</i>	<i>Lr</i>
Especie	<i>Ag</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Rm</i>	<i>Lr</i>
Número de individuos (n)	173	3	170	3	1
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	5.49	3.03	5.74	3.57	2.70
Desviación estandar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.41	0.45	2.73	1.25	NA
Altura total promedio (m)	4.15	2.83	3.96	2.83	2.5
Desviación estandar (m) de la altura total promedio	1.65	0.58	1.29	0.58	NA
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.89	0.87	0.93	0.57	0.10
Desviación estandar (m) de la altura del fuste limpio	0.44	0.25	0.66	0.12	NA
Diámetro promedio	3.22	3.30	3.80	5.54	1.90

de la copa (m)					
Área basal (m ²)	0.49	0.002	0.52	0.003	0.001
Área basal (m ² /ha)	12.22	0.05	13.10	0.08	0.014
Densidad (ind/unidad de área)	0.4325	0.0075	0.425	0.0075	0.0025
Densidad (ind/ha)	4325	75	4250	75	25
Densidad relativa	98.3	1.7	97.7	1.7	0.6
Frecuencia relativa	98.3	1.7	97.7	1.7	0.6
Dominancia relativa	99.25	0.45	99.28	0.61	0.11
Valor de importancia	296	4	295	4	1
Índice de complejidad de Holdridge	21.95	0	22.05	0	0

PARCELA NAVACHISTE_2 (ID 9)

La parcela ID 9 se instaló en la coordenada central 25.417475°;-108.791303° (Figura 38). En la primera etapa, se observó manglar con dominancia de *A. germinans* (99.3%) y en menor proporción *L. racemosa* (0.7%). El DAP₁₃₀ promedio fue de 6.4 cm, con altura promedio de 5 m, y una densidad de 3,550 individuos ha⁻¹. Durante la segunda etapa, se mantuvo la dominancia de *A. germinans* (98%), seguido de *L. racemosa* (2%), con un total de 145 individuos y una densidad de 3,625 individuos ha⁻¹. Se observó un DAP₁₃₀ promedio de 6.5 cm y una altura promedio de 4.7 m. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 15 cm. En cada etapa se observaron 3 individuos muertos dentro de la parcela de 20 x 20 m, en el primer periodo uno por tala y dos por causas naturales, y en el segundo por causas naturales en todos los casos.



Figura 38. Ubicación de la parcela Navachiste_2 (ID 9). Imagen tomada de Google Earth Inc. Coordenada central: 25.417475°;-108.791303°.

Tabla 11. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Navachiste_2 (Parcela ID 9).

Parcela ID=9; Navachiste 2	Etapa 1		Etapa 2	
	Ag	Lr	Ag	Lr
Especie	Ag	Lr	Ag	Lr
Número de individuos (n)	141	1	142	3
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	6.39	6.60	6.49	6.47
Desviación estandar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.98	NA	3.21	0.68
Altura total promedio (m)	5.05	7	4.73	4.83
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	2.15	NA	1.56	0.58
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.85	0.24	1.27	1.50
Desviación estandar (m) de la altura del fuste limpio	0.61	NA	0.79	0.44
Diámetro promedio de la copa (m)	3.46	4.24	4.26	2.97
Área basal (m ²)	0.55	0.003	0.57	0.01
Área basal (m ² /ha)	13.74	0.09	14.25	0.25
Densidad (ind/unidad de área)	0.3535	0.0025	0.355	0.0075
Densidad (ind/ha)	3525	25	3550	75
Densidad relativa	99.3	0.7	97.9	2.1
Frecuencia relativa	99.3	0.7	97.9	2.1
Dominancia relativa	99.38	0.62	98.29	1.71
Valor de importancia	298	2	294	6
Índice de complejidad de Holdridge	24.47	0	23.91	0.01

PARCELA MACAPULE (ID 10)

Se realizó el análisis estructural en la parcela Macapule (Figuras 39, 40 y 41). En el primer año de estudio, se registró un DAP₁₃₀ promedio de 5.05 cm y una altura promedio de 3.52 m ($A_g=3.5$ m, $L_r=4.4$ m, $R_m=3.3$ m). Se calculó una densidad de 3,725 individuos ha⁻¹. *A. germinans* fue la especie dominante (89.26%, IVI=262.7), seguida de *L. racemosa* (8.7%, IVI=32.2), mientras que *R. mangle* concentró solo el 2% de individuos (IVI=5.1). El Índice de Complejidad de Holdridge fue de 33.9. No se observó extracción de arbolado. El porcentaje de mortalidad calculado fue de 1.49%. En la segunda etapa, *A. germinans* fue la especie dominante (88.8%) y en menor proporción *L. racemosa* (9.4%) y *R. mangle* (1.9%). Se registró una densidad de 4,000 individuos ha⁻¹, un DAP₁₃₀ promedio de 5 cm, y una altura promedio de 4.1 m.



Figura 39. Ubicación del sitio Macapule (ID 10). Imagen tomada de Google Earth Inc. Coordenada central: 25.399150°;-108.708857°



Figura 40. Vista aérea hacia la parcela Macapule (ID 10).



Figura 41. Zona contigua al sitio Macapule.

Tabla 12. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Macapule (Parcela ID 10).

Parcela ID=10; Macapule	Etapa 1			Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie						
Número de individuos (n)	133	13	3	142	15	3
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.92	6.85	3.87	4.69	7.64	5.73
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.81	1.83	1.32	1.96	2.03	2.61
Altura total promedio (m)	3.45	4.38	3.33	4	5.12	4.50
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.98	0.98	1.04	1.25	1.09	2.65
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.48	1.75	0.70	1.84	1.03	0.83
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.52	0.28	0.51	0.71	0.84	0.51
Diámetro promedio de la copa (m)	2.13	3.01	3.25	3.38	5.72	7.86
Área basal (m ²)	0.29	0.05	0.004	0.29	0.07	0.01
Área basal (m ² /ha)	7.16	1.28	0.09	7.20	1.83	0.22
Densidad (ind/unidad de área)	0.3325	0.0325	0.0075	0.355	0.0375	0.0075
Densidad (ind/ha)	3325	325	75	3550	375	75
Densidad relativa	89.3	8.72	2.01	88.8	9.38	1.88
Frecuencia relativa	89.3	8.72	2.01	88.8	9.38	1.88
Dominancia relativa	83.94	14.94	1.11	77.82	19.81	2.38
Valor de importancia	262	32	5	255	39	6
Índice de complejidad de Holdridge	8.21	0.18	0.002	10.23	0.35	0.01

SANTA MARÍA-LA REFORMA

Al igual que en el caso del sistema lagunar de Agiabampo, Santa María –La Reforma ha mostrado un crecimiento en la infraestructura acuícola (Figura 42), la cual se ha incrementado en más de 12 % desde 1995 (Millán-Aguilar, 2016).

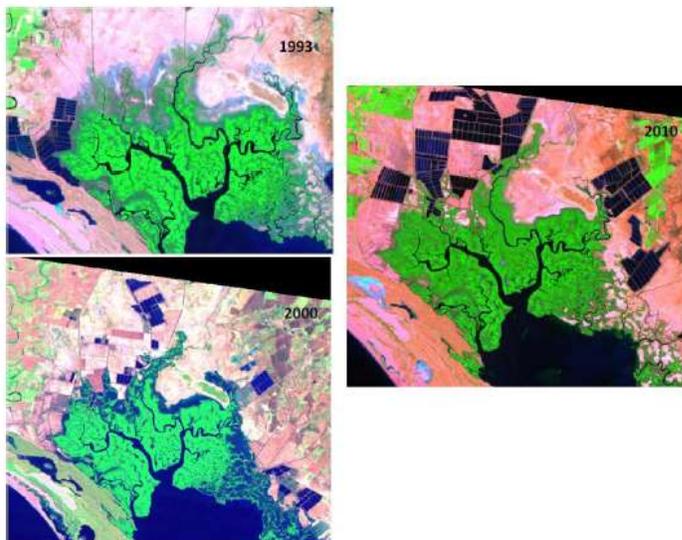


Figura 42. Detalle de la sección norte del sistema lagunar. Se muestra el crecimiento en estanquería acuícola. Fuente: Flores-Cárdenas (2011).

Se realizó el análisis de estructura forestal para las cinco parcelas establecidas en Santa María-La Reforma, comparando estadísticamente las principales variables estructurales entre las dos etapas de muestreo. La comparación del DAP_{130} en los dos periodos no mostró diferencias significativas y la tendencia fue similar en ambos periodos (Figura 43). El mayor promedio de altura se observó en la parcela ID 14 (perteneciente a Altamura) en ambas etapas, donde en su mayoría son individuos tipo intermedios, co-dominantes y dominantes, asimismo, fue la única parcela en este sistema lagunar donde no se observó repoblamiento (ver sección *Densidad de plántulas*). Los valores más altos del diámetro de la corona se registraron en la segunda etapa de muestreos, sobresaliendo la parcela ID 14 entre las cinco parcelas (Figura 45).

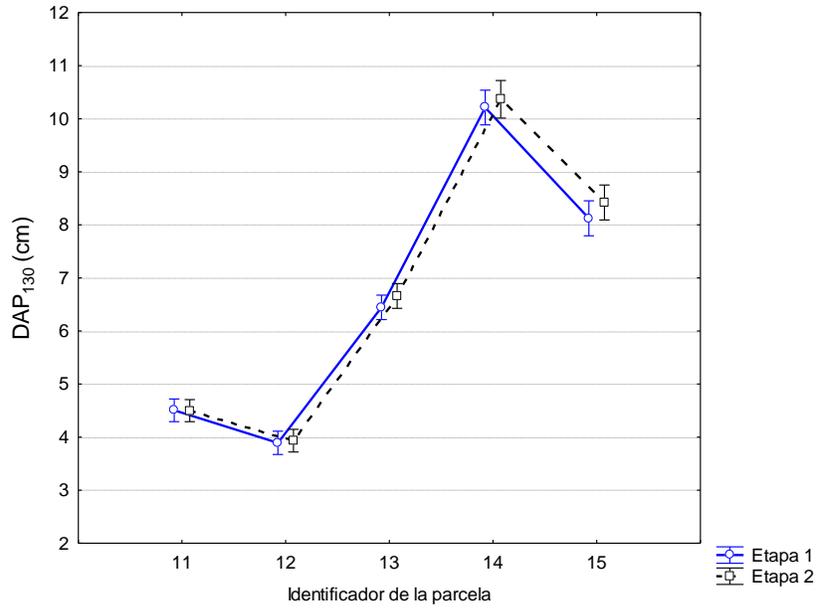


Figura 43. Comparación del DAP₁₃₀ promedio en las parcelas analizadas en el sistema lagunar Santa María-La Reforma, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

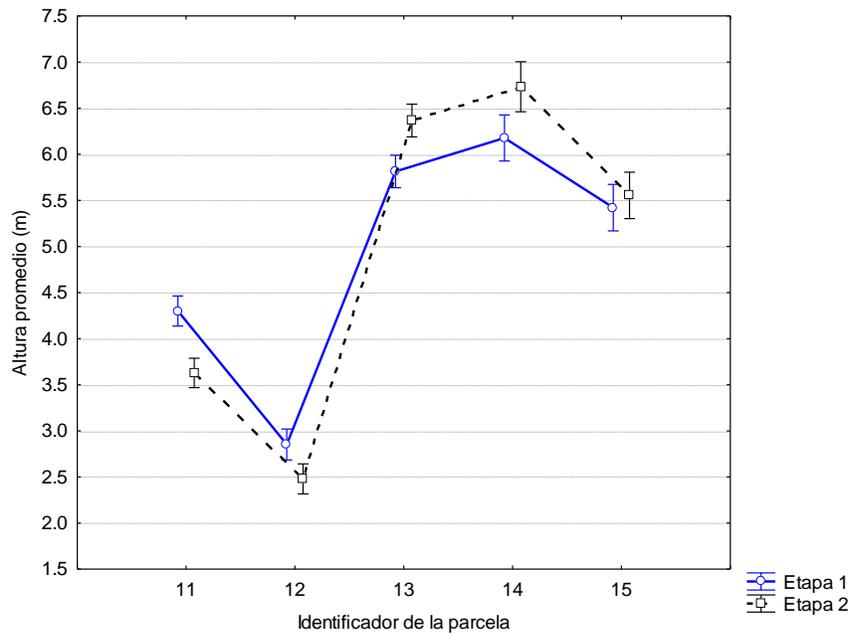


Figura 44. Altura promedio entre parcelas localizadas en Santa María-La Reforma, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

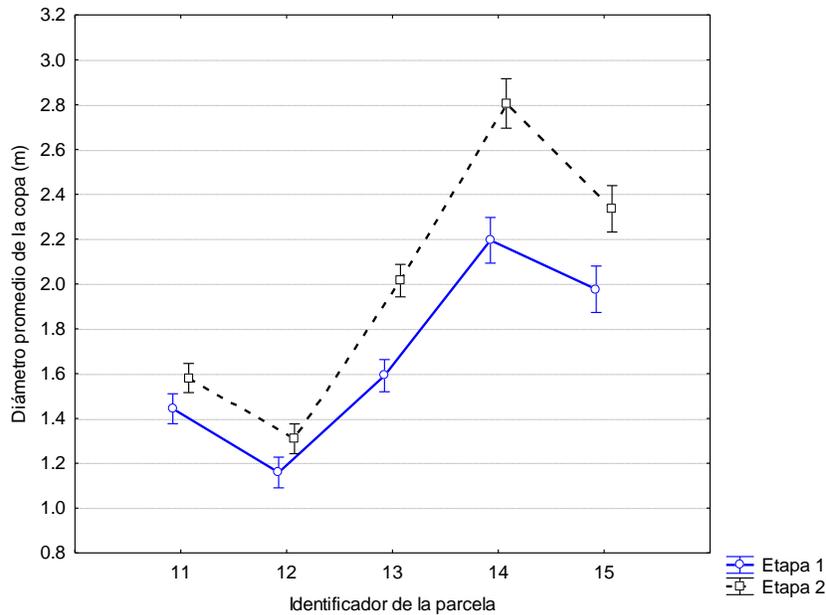


Figura 45. Comparación del diámetro promedio de la copa (m) entre parcelas localizadas en el sistema Santa María-La Reforma, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

PARCELA LA REFORMA_1 (ID 11)

La parcela ID 11 (coordenada central: 24.932255°, -108.036921°; Figura 46, 47) registró dominancia de *A. germinans* (n=142) y presencia de *L. racemosa* en el borde durante la primera etapa de estudio (2016), con una n=160 y una densidad promedio de 4,000 individuos ha⁻¹. DAP₁₃₀ promedio de 4.5 cm y altura promedio de 4.3 m. La altura de los neumatóforos fue de 18 cm. Se observaron plántulas de *A. germinans* y en menor grado de *R. mangle*. El tipo de corona predominante fue intermedia. El nivel de inundación observado fue de 25 cm.

En la segunda etapa de muestreo, se mantuvo la dominancia de *A. germinans* (89% del total de individuos, n=169) y en menor proporción *L. racemosa* (5.3%) y *R. mangle* (5.3%), observándose una densidad promedio general de 4,225 individuos·ha⁻¹. Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 4.5 cm, y una altura promedio de 3.6 m. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 25 cm, mientras que el tipo de corona predominante fue suprimida. Se observó un nivel de inundación de 30 cm.



Figura 46. Ubicación geográfica de la parcela La Reforma_1. Imagen tomada de Google Earth Inc. Coordenada central: 24.932255°, -108.036921°).



Figura 47. Detalle de la parcela La Reforma_1.

Tabla 13. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela La Reforma_1 (Parcela ID 11).

Parcela ID=11; La Reforma 1	Etapa 1			Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie						
Número de individuos (n)	142	9	9	151	9	9
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.48	6.14	3.13	4.41	6.68	3.61
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.59	1.97	0.42	1.44	1.85	1.03
Altura total promedio (m)	4.17	6.67	4.06	3.51	5.89	3.33
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.68	2.44	1.45	1.15	1.75	0.61
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.99	1.57	0.50	1.10	1.82	0.81
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.51	0.47	0.30	0.67	0.95	0.29
Diámetro promedio de la copa (m)	2.72	3.21	4.81	2.95	5.21	4.58
Área basal (m ²)	0.25	0.03	0.01	0.26	0.03	0.01
Área basal (m ² /ha)	6.31	0.73	0.18	6.38	0.84	0.25
Densidad (ind/unidad de área)	0.355	0.0225	0.0225	0.3775	0.0225	0.0225
Densidad (ind/ha)	3550	225	225	3775	225	225
Densidad relativa	88.75	5.63	5.63	89.35	5.33	5.33
Frecuencia relativa	88.75	5.63	5.63	89.35	5.33	5.33
Dominancia relativa	87.47	10.09	2.44	85.42	11.27	3.31
Valor de importancia	265	21	14	264	22	14
Índice de complejidad de Holdridge	9.34	0.11	0.02	8.46	0.11	0.02

PARCELA LA REFORMA_2 (ID 12)

Se encuentra localizada en el margen este de la Isla Talchichitle. Coordenada central: 24.900989°, -108.041995° (Figura 48, 49). En el borde de la parcela se observó sustrato de conchalina. En la primera etapa se registró dominancia de *A. germinans* con tipo de corona intermedia, DAP₁₃₀ promedio de 3.9 cm, altura promedio de 2.9 m y una densidad de 3,775 individuos·ha⁻¹. El nivel de inundación observado fue de 12 cm. Altura promedio de neumatóforos de 10 cm. En la segunda etapa, con dominancia de *A. germinans*, con corona suprimida, una densidad de 4,000 individuos por hectárea, con un DAP₁₃₀ y altura promedio de 4 cm y 2.5 m, respectivamente. El nivel de inundación registrado fue de 50 cm, tamaño promedio de neumatóforos de 15 cm. En ninguno de los años se observó extracción, sin embargo, en la última etapa la mortalidad fue del 4% (7 individuos, con un DAP₁₃₀ promedio de 6.3 cm), todos por causas naturales.



Figura 48. Ubicación de la parcela La Reforma_2. Imagen tomada de Google Earth Inc. Coordenada central: 24.900989°, -108.041995°



Figura 49. Detalle frontal e interior en el sitio La Reforma_2.

Tabla 14. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela La Reforma_2 (Parcela ID 12).

Parcela ID=12; La Reforma 2	Etapas 1	Etapas 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	151	160
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	3.89	3.93
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.11	1.20
Altura total promedio (m)	2.85	2.48
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.82	0.52
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.65	0.72
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.30	0.40
Diámetro promedio de la copa (m)	2.32	2.62
Área basal (m ²)	0.19	0.21
Área basal (m ² /ha)	4.85	5.25
Densidad (ind/unidad de área)	0.3775	0.40
Densidad (ind/ha)	3775	4000
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	5.22	5.21

PARCELA LA REFORMA_3 (ID 13)

La parcela ID 13 (Figuras 50,51) se delimitó conforme a la coordenada central 24.836175°, -108.012651°. Se encuentra en una zona que es frecuentemente utilizada para instalar campamentos pesqueros temporales. En la primera etapa de estudio (n=137), se observó dominancia de *A. germinans* (100%), con un DAP₁₃₀ promedio de 6.45 cm y altura promedio de 5.8 m. Se registró una densidad de 3,425 individuos ha⁻¹. Altura promedio de neumatóforos de 15 cm y nivel de inundación 40 cm. Se observó una predominancia de corona tipo intermedia en un 70%. El borde de playa es de conchalina. Se observó una concentración alta de contaminantes tipo PET. Durante la segunda etapa, la dominancia de *A. germinans* se mantuvo, observando un total de 135 individuos dentro de la parcela de 20 x 20 m. Se registró un DAP₁₃₀ y altura promedio de 6.7 cm y 6.4 m, respectivamente, con

una densidad promedio de 3,375 individuos·ha⁻¹. El tamaño promedio de neumatóforos fue de 30 cm.



Figura 50. Detalle interior y frontal de la parcela La Reforma_3. Coordenada central: 24.836175°, -108.012651°



Figura 51. Ubicación de la parcela La Reforma_3.
Coordenada central: 24.836175°, -108.012651°

Tabla 15. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela La Reforma_3 (Parcela ID_13).

Parcela ID=13; La Reforma_3	Etapas 1	Etapas 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	137	135
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	6.45	6.66
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	3.06	3.16
Altura total promedio (m)	5.81	6.37
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	2.70	3.27
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.14	1.41
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.99	1.14
Diámetro promedio de la copa (m)	3.18	4.02
Área basal (m ²)	0.55	0.58
Área basal (m ² /ha)	13.68	14.39
Densidad (ind/unidad de área)	0.3425	0.3375
Densidad (ind/ha)	3425	3375
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	22.24	30.91

PARCELA ALTAMURA (ID 14)

La parcela ID 14 se encuentra sobre la barra arenosa denominada Altamura y se definió con respecto a la coordenada central 25.096835°, -108.286881° (Figuras 52,53). Se observó dominancia de *L. racemosa* (80.9%, IVI=242.6) sobre *A. germinans* (19.1%, IVI=57.4). El Índice de Complejidad de Holdridge fue de 1.02. Se observó una mortalidad de 30.88% correspondiente a *L. racemosa*, en su mayoría por causas naturales. La densidad total observada fue de 1,700 individuos ha⁻¹. El DAP₁₃₀ promedio en general fue de 10.2 cm (*L. racemosa*=9.6 cm y *A. germinans*=12.6 cm). La altura total promedio fue de 6.2 m. El AB total fue de 16.05 m² ha⁻¹.



Figura 52. Ubicación geográfica de la parcela Altamura_1. Imagen tomada de Google Earth Inc (coordenada central: 25.096835°, -108.286881°).

En la segunda etapa se mantuvo la proporción de especies (n=58 individuos), 81% de *L. racemosa* y 19% de *A. germinans*. La densidad promedio observada fue de 1,450 individuos·ha⁻¹ (1,175 de *L. racemosa* y 275 de *A. germinans*), DAP₁₃₀ promedio de 10.4 cm y una altura promedio de 6.7 m. La mortalidad disminuyó de un periodo a otro, de 21 a 11 individuos dentro de la parcela 20 x 20 m, todos por causas naturales.



a



b



Figura 53. A-b) Detalle de la parcela Altamura, c-d) borde de la zona de estudio.

Tabla 16. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Altamura (Parcela ID 14).

Parcela ID=14; Altamura	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	13	55	11	47
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	12.64	9.64	11.99	9.99
Desviación estandar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	5.51	3.42	5.19	3.75
Altura total promedio (m)	6.54	6.09	7.41	6.57
Desviación estandar (m) de la altura total promedio	1.93	1.56	1.99	2.31
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.81	1.34	1.21	1
Desviación estandar (m) de la altura del fuste limpio	0.63	0.66	0.35	0.46
Diámetro promedio de la copa (m)	7.43	3.67	7.12	5.26
Área basal (m ²)	0.19	0.45	0.15	0.42
Área basal (m ² /ha)	4.79	11.27	3.63	10.47
Densidad (ind/unidad de área)	0.0325	0.1375	0.0275	0.1175
Densidad (ind/ha)	325	1375	275	1175
Densidad relativa	19.12	80.88	18.97	81.03
Frecuencia relativa	19.12	80.88	18.97	81.03
Dominancia relativa	29.84	70.16	25.76	74.24
Valor de importancia	68	232	64	236
Índice de complejidad de Holdridge	1.02	9.43	0.74	8.09

PARCELA ISLA TALCHICHITLE (ID 15)

Se definió con base a la coordenada central 24.979943°, -108.155352° (Figuras 54,55). En la primera etapa, se observó dominancia de *A. germinans* (n=67), registrando una densidad de 1,675 individuos ha⁻¹. DAP₁₃₀ promedio de 8.12 cm, altura de 5.4 m y corona tipo intermedia. El nivel de inundación observado fue de 45 cm.

En la segunda etapa de muestreos, se registró una n=67 individuos, *A. germinans* en su totalidad. Densidad de 1,675 individuos por hectárea, DAP₁₃₀ promedio de 8.4 cm y una altura promedio de 5.6 m. Se observó un ligero incremento en la mortalidad entre las dos etapas de estudio, registrándose 3 individuos muertos durante el primer año, y 7 en el último, en ambos casos por causas naturales.



Figura 54. Ubicación de la parcela Isla Talchichitle. Imagen tomada de Google Earth Inc. 24.979943°, -108.155352°.



Figura 55. Detalle del borde del sitio Isla Talchichitle (ID 15).

Tabla 17. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Isla Talchichitle (Parcela ID 15).

Parcela ID=15; Isla Talchichitle	Etapa 1	Etapa 2
Especie	<i>Ag</i>	<i>Ag</i>
Número de individuos (n)	67	67
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	8.12	8.42
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	4.52	4.34
Altura total promedio (m)	5.42	5.55
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	2.79	3.05
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.98	0.91
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.46	0.55

Diámetro promedio de la copa (m)	3.95	4.67
Área basal (m ²)	0.45	0.47
Área basal (m ² /ha)	11.33	11.77
Densidad (ind/unidad de área)	0.1675	0.1675
Densidad (ind/ha)	1675	1675
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	10.29	10.95

CEUTA

Del estudio de estructura forestal realizado en cada una de las cinco parcelas ubicadas en el sistema lagunar de Ceuta (Figura 56), se determinaron las siguientes generalidades. El DAP₁₃₀ fue mayor en la parcela ID 18 en ambas etapas de muestreo, con un incremento no significativo en el 2017 (Figura 57). El valor mínimo de DAP₁₃₀ observado se registró en las parcelas ID 16 y 17 en la segunda etapa (Figura 57). Los individuos con mayor altura se observaron durante la segunda etapa en la parcela ID 18, en tanto que los de menor altura correspondieron a la parcela ID 16 en la primera etapa (Figura 58). Tanto en la parcela ID 18 como en la ID 20, se observó el mayor porcentaje de mortalidad en el segundo periodo de estudio (ver sección *Mortalidad*).



Figura 56. Vista general al sistema lagunar de Ceuta, con la ubicación de las 5 parcelas.

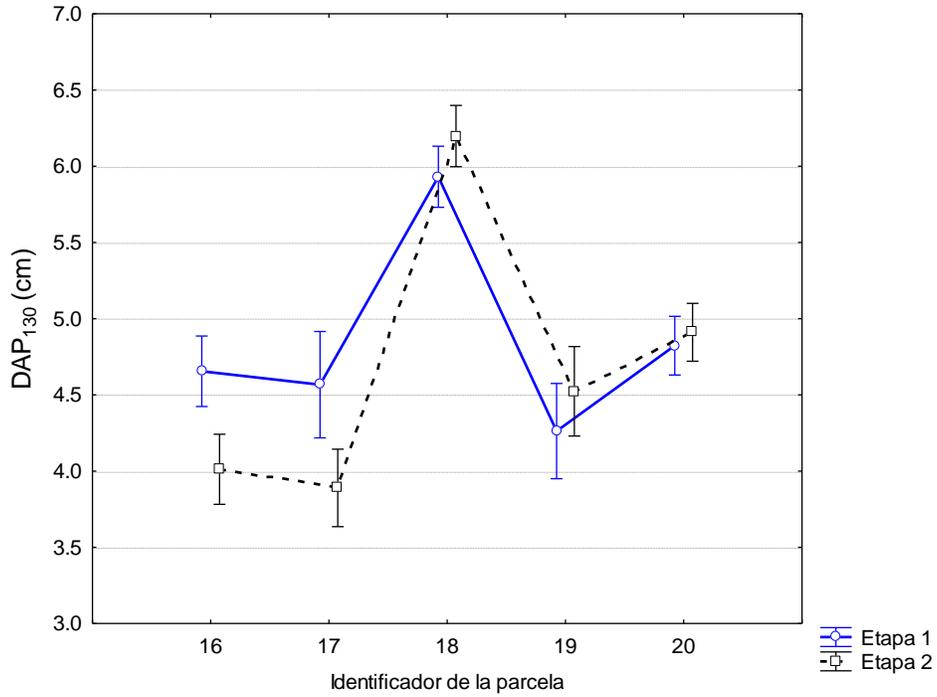


Figura 57. Comparación del DAP₁₃₀ promedio (cm) en las parcelas analizadas en Ceuta. Las barras muestran el error estándar asociado.

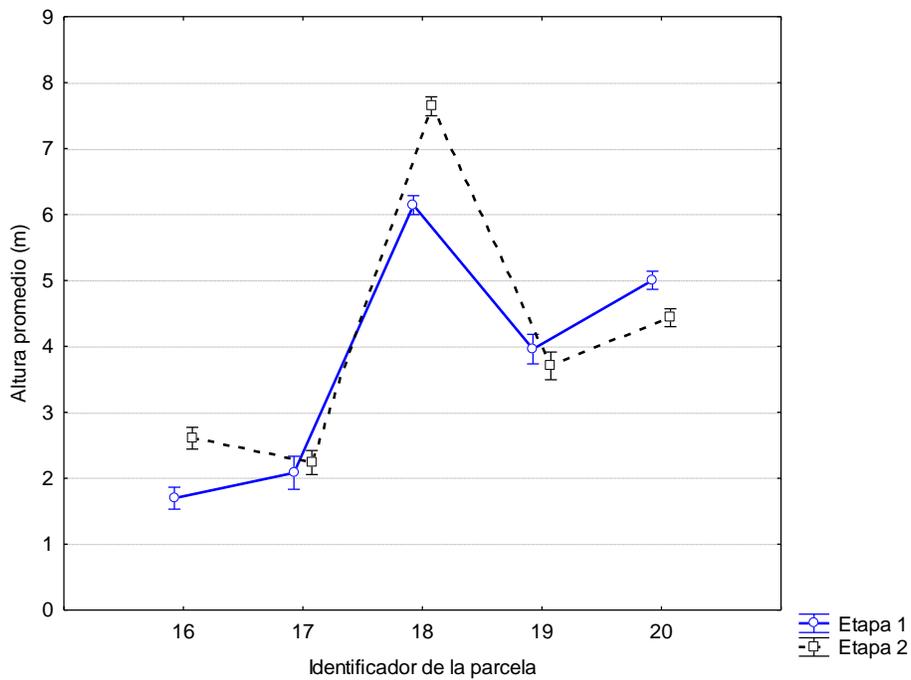


Figura 58. Altura promedio (m) entre parcelas localizadas en Ceuta, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

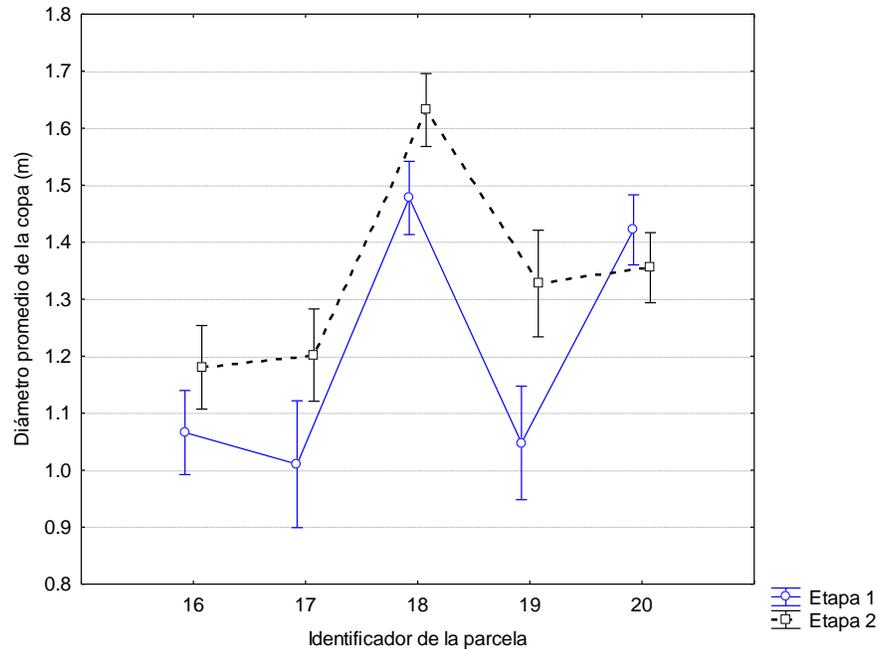


Figura 59. Comparación del diámetro promedio de la corona (m) entre parcelas localizadas en Ceuta, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

A continuación se muestra la descripción de cada parcela, comparando variables estructurales, tales como dominancia de especies, DAP₁₃₀ y altura promedio.

PARCELA CEUTA_1 (ID 16)

En general, se observó dominancia del 100% de *A. germinans* dentro de la parcela e individuos dispersos de *L. racemosa* junto a la misma. Plántulas de *R. mangle*, *L. racemosa*, *A. germinans*. El nivel de marea observado fue de 15 cm, mientras que la altura promedio de neumatóforos fue de 27 cm. El tipo fisonómico dominante fue arbustivo. La coordenada central es 24.046472°, -107.101861° (Figura 60).



Figura 60. Vista aérea del sitio Ceuta_1 (ID 16). Coordenada central: 24.046472°, -107.101861°

Se determinó la estructura forestal en la parcela ID 16 con los siguientes resultados. En la primera etapa (marzo 2015), se registró únicamente a *A. germinans* en el interior de la parcela (Figura 61). En general la complejidad es baja (Índice de Complejidad de Holdridge=1.5). El DAP_{130} promedio fue de 4.65 cm con una altura promedio de 1.7 m. La densidad calculada fue de 2,050 individuos·ha⁻¹, con área basal de 4.3 m² ha⁻¹. Durante la segunda etapa (noviembre 2017) se mantuvo la dominancia de *A. germinans* en el interior de la parcela, aumentando un individuo, con una densidad promedio de 2,075 individuos ha⁻¹. El DAP_{130} promedio fue de 4 cm y la altura promedio aumentó a 2.6 m. No se observó extracción ni mortalidad en ninguna de las dos etapas, aunque se registró bajo repoblamiento en ambas.



Figura 61. Detalle de la parcela Ceuta_1.

Tabla 18. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Ceuta_1 (Parcela ID 16).

Parcela ID=16; Ceuta 1	Etapa 1	Etapa 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	82	83
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.65	4.01
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.27	1.75
Altura total promedio (m)	1.69	2.61
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.77	0.94
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.30	0.26
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.22	0.16
Diámetro promedio de la copa (m)	2.13	2.36
Área basal (m ²)	0.17	0.12
Área basal (m ² /ha)	4.31	3.12
Densidad (ind/unidad de área)	0.205	0.2075
Densidad (ind/ha)	2050	2075
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	1.50	1.69

PARCELA CEUTA_2 (ID 17)

La parcela ID 17 cuenta con coordenada central 24.052895°, -107.111639° (Figura 62). Durante la primera etapa (marzo 2016) se observó dominancia de *A. germinans* (97%, densidad calculada de 900 ind ha⁻¹) con un solo individuo de *R. mangle* (3%, densidad de 25 ind·ha⁻¹). El DAP₁₃₀ promedio fue de 4.6 cm, con una altura promedio de 2 m. En la siguiente etapa (noviembre 2017), la dominancia de *A. germinans* se mantuvo (96% con una densidad de 1,700 individuos ha⁻¹), así como la permanencia e incremento de individuos de *R. mangle* (4%, densidad de 75 individuos ha⁻¹). El DAP₁₃₀ tuvo un promedio de 3.9 cm, mientras que la altura promedio fue de 2.2 m. Estos resultados pueden explicarse con el aumento en el número de individuos con DAP₁₃₀ < 2.5 cm dentro de la parcela de 20 x 20 m (36 individuos registrados en 2016). En ninguna etapa se observó extracción, sin embargo, se registraron tres individuos muertos en el primer año (uno de ellos por tala), y dos durante el segundo año (todos por muerte natural).



Figura 62. Parcela ID 17, sistema lagunar Ceuta.

Tabla 19. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Ceuta_2 (Parcela ID 17).

Parcela ID=17; Ceuta 2	Etapa 1		Etapa 2	
	Ag	Rm	Ag	Rm
Especie				
Número de individuos (n)	35	1	65	3
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.60	3.50	3.95	2.50
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.77	NA	1.41	0
Altura total promedio (m)	2.07	2.50	2.26	1.73
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.87	NA	0.65	0.31
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.39	0.25	0.29	0.38
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.40	NA	0.19	0.13
Diámetro promedio de la copa (m)	1.97	3.90	2.40	2.44
Área basal (m ²)	0.07	0.001	0.09	0.002
Área basal (m ² /ha)	1.66	0.02	2.25	0.04
Densidad (ind/unidad de área)	0.0875	0.0025	0.1625	0.0750
Densidad (ind/ha)	875	25	1625	75
Densidad relativa	97.22	2.78	95.59	4.41
Frecuencia relativa	97.22	2.78	95.59	4.41
Dominancia relativa	98.60	1.40	98.36	1.64
Valor de importancia	293	7	290	10
Índice de complejidad de Holdridge	0.30	0.002	0.83	0.01

PARCELA CEUTA_3 (ID 18)

Los resultados de estructura forestal para esta parcela (coordenada central 24.062806°, -107.122073°: Figura 63) durante la primera etapa de estudio, son los siguientes. Se observó dominancia de *L. racemosa* (n=90 individuos) con un 82.6% y en menor proporción individuos de *A. germinans* (10%) y *R. mangle* (7.34%). La densidad promedio general fue de 2,725 individuos por ha⁻¹. Se observó un tamaño promedio de los neumatóforos de 25 cm. El DAP₁₃₀ promedio observado fue de 6 cm, con una altura promedio de 6 m. La dominancia de *L. racemosa* se mantuvo durante la segunda etapa (noviembre 2017) con un 85% y menos individuos de *A. germinans* (8.26%) y *R. mangle* (6.4%). Durante la segunda etapa se observó un DAP₁₃₀ promedio de 6.2 cm y una altura promedio de 7.6 m. Aunque la proporción de especies varió, el número de individuos

dentro de la parcela 20 x 20 m se mantuvo ($n=109$), *i.e.* se registró la misma densidad. En ninguno de los dos periodos se observó extracción, y el porcentaje de mortalidad disminuyó de un año a otro, de 22 individuos muertos que se observaron en 2016, a 9 individuos en 2017, todos por causa natural. El DAP_{130} promedio de estos últimos fue mayor a los del primer periodo, de 9 y 7 cm, respectivamente.



Figura 63. Detalle frontal (panel superior) e interior (panel inferior) de la parcela ID 18 en el sistema lagunar de Ceuta.

Tabla 20. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Ceuta_3 (Parcela ID 18).

Parcela ID=18; Ceuta 3	Etapa 1			Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie						
Número de individuos (n)	11	90	8	9	93	7
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.88	6.27	3.56	3.86	6.64	3.31
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.01	2.35	0.65	1.22	2.40	0.47
Altura total promedio (m)	5.23	6.48	3.63	4.94	8.17	4.07
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.97	1.33	1.27	2.21	2.35	1.10
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.88	1.25	0.56	0.32	0.47	0.59
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.37	0.61	0.50	0.11	0.35	0.29
Diámetro promedio de la copa (m)	2.35	3	3.27	2.24	3.30	4.06
Área basal (m ²)	0.02	0.32	0.01	0.01	0.36	0.01
Área basal (m ² /ha)	0.59	7.91	0.21	0.29	9.10	0.15
Densidad (ind/unidad de área)	0.0275	0.225	0.02	0.0225	0.2325	0.0175
Densidad (ind/ha)	275	2250	200	225	2325	175
Densidad relativa	10.09	82.57	7.34	8.26	85.32	6.42
Frecuencia relativa	10.09	82.57	7.34	8.26	85.32	6.42
Dominancia relativa	6.82	90.83	2.35	2.99	95.41	1.60
Valor de importancia	27	256	17	20	266	14
Índice de complejidad de Holdridge	0.09	11.54	0.01	0.03	17.29	0.01

PARCELA CEUTA_4 (ID 19)

Los resultados de estructura forestal para la parcela ID 19 (Figura 64), mostró una dominancia similar de *A. germinans* y *L. racemosa* para ambas etapas de estudio. En 2016 se observó un mayor porcentaje de *A. germinans* (49%) seguido de *L. racemosa* (47%) y en menor proporción *R. mangle* (4.4%).

Se registró un DAP₁₃₀ y altura promedio de 4.3 cm y 4 m, respectivamente, y una densidad general promedio de 1,125 individuos ha⁻¹. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 15 cm. Por otra parte, en 2017 el porcentaje de individuos de *A. germinans* disminuyó a 43%, en tanto que *L. racemosa* aumentó a 51%, así como *R. mangle* (6%). El DAP₁₃₀ promedio calculado fue de 4.5 cm, una altura promedio de 3.7 m, y una densidad de 1,275 individuos ha⁻¹. No se observó extracción en la parcela en ninguna

de las etapas analizadas, y el número de individuos muertos fue similar en ambas, 4 y 5, respectivamente. El tamaño promedio de los neumatóforos en la segunda etapa fue de 40 cm.



Figura 64. Detalle frontal e interior de la parcela ID 19 en Ceuta.

Tabla 21. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Ceuta 4 (Parcela ID 19).

Parcela ID=19; Ceuta 4	Etapa 1			Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie						
Número de individuos (n)	22	21	2	22	26	3
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	3.59	5.09	2.95	3.66	5.42	3.13
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	0.75	1.91	0.49	0.70	1.99	0.93
Altura total promedio (m)	3.34	4.74	2.50	2.88	4.54	2.50
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.06	1.24	0	0.66	0.95	0
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.68	0.85	0.33	0.35	0.39	0.27
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.33	0.49	0.11	0.20	0.22	0.12
Diámetro promedio de la copa (m)	1.78	2.42	2.13	1.64	3.48	2.90
Área basal (m ²)	0.02	0.05	0.001	0.02	0.07	0.002
Área basal (m ² /ha)	0.58	1.21	0.03	0.60	1.69	0.06
Densidad (ind/unidad de área)	0.055	0.0525	0.005	0.055	0.065	0.0075
Densidad (ind/ha)	550	525	50	550	650	75
Densidad relativa	48.89	46.67	4.44	43.14	50.98	5.88
Frecuencia relativa	48.89	46.67	4.44	43.14	50.98	5.88
Dominancia relativa	31.75	66.35	1.90	25.46	71.94	2.60
Valor de importancia	130	160	11	112	174	14
Índice de complejidad de Holdridge	0.11	0.30	0.004	0.09	0.50	0.001

PARCELA CEUTA_5 (ID 20)

Se determinó la estructura forestal de la parcela Ceuta_5 (Figura 65) con los resultados siguientes. En la primera etapa se observaron 118 individuos con dominancia de *A. germinans* (87%) y en menor proporción *L. racemosa* (13%). En la segunda etapa se mantuvo la dominancia de *A. germinans* (86%) con un total de 122 individuos, seguido de *L. racemosa* (13%). El valor promedio del DAP₁₃₀ en ambas etapas fue similar, registrando valores promedio de 4.8 cm en 2016 y 5 cm en 2017. En cuanto a la altura, el valor promedio de ésta disminuyó de 5.0 m a 4.4 m debido al incremento en el número de individuos (DAP₁₃₀>2.5 cm y altura mayor a 1.3 m) en la segunda etapa, aunado al incremento en la mortalidad. La densidad promedio general observada fue de 2,950 (2016) y 3,050 (2017) individuos ha⁻¹. En ninguno de los periodos se observó extracción pero sí mortalidad. Durante el 2016 fueron registrados 8 individuos muertos con un DAP₁₃₀ promedio de 6 cm, mientras que en 2017 la mortalidad aumentó a 16 individuos con un DAP₁₃₀ promedio de 4.5 cm. El tamaño promedio de neumatóforos observado en 2017 fue de 15 cm.



Figura 65. Detalle frontal (izquierda) e interior (derecha) de la parcela ID 20 en el sistema lagunar de Ceuta.

Tabla 22. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Ceuta_5 (Parcela ID 20).

Parcela ID=20; Ceuta 5	Etapa 1		Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Número de individuos (n)	103	15	105	16	1
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.38	7.87	4.32	8.94	2.50
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.33	2.41	1.43	3.63	NA
Altura total promedio (m)	4.72	6.97	4.19	6.19	2.50
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.30	1.49	1.23	1.36	NA
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.71	1.02	0.36	0.38	0.15
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.38	0.55	0.21	0.20	NA
Diámetro promedio de la copa (m)	2.61	4.46	2.26	5.56	2.40
Área basal (m ²)	0.17	0.08	0.17	0.12	0
Área basal (m ² /ha)	4.23	1.99	4.24	2.90	0.01
Densidad (ind/unidad de área)	0.2575	0.0375	0.265	0.04	0.025

Densidad (ind/ha)	2575	375	2650	400	25
Densidad relativa	87.29	12.71	86.07	13.11	0.82
Frecuencia relativa	87.29	12.71	86.07	13.11	0.82
Dominancia relativa	68.07	31.93	59.27	40.56	0.17
Valor de importancia	243	57	231	67	2
Índice de complejidad de Holdridge	5.14	0.52	4.65	0.72	0

ESTERO DE URÍAS

Diversos estudios muestran evidencia de impactos ambientales importantes en el Estero de Urías, la mayoría atribuidos a las dimensiones humanas (e.g. Ferrando y Mendez, 2011; Vasavilbazo y Covantes, 2012). Ferrando y Mendez (2011) reportaron diferentes impactos en la fauna bentónica, identificando cinco zonas: 1) zona no perturbada, en la boca de la laguna; 2) zona ligeramente perturbada, bordeada por manglares y granjas camarónicas; 3) zona temporalmente perturbada, cerca del efluente de la planta termoeléctrica; 4) zona perturbada, frente al rastro y una fábrica procesadora de pescado; 5) zona muy perturbada, sujeta al efecto de los desechos domésticos e industriales. Vasavilbazo y Covantes (2012), destacan que a pesar de los servicios ecosistémicos que provee este ecosistema, no se han atendido los conflictos que han propiciado un deterioro importante con cambios consecuentes en la diversidad biótica. Entre los principales procesos forzantes de cambio mencionan el vertimiento de agua con temperatura elevada proveniente de la termoeléctrica José Aceves Pozos, las aguas residuales provenientes de las plantas “El Crestón” y “El Castillo”, así como a combustibles derivados de la actividad de embarcaciones menores y mayores en el canal de navegación. Jaward *et al.* (2012) realizaron un estudio sobre los niveles de hidrocarburos policíclicos aromáticos en el Estero de Urías, concluyendo que éste se encuentra moderadamente contaminado, registrándose los mayores niveles en la zona de descargas industriales y municipales. Respecto a metales pesados, Ruíz-Fernández *et al.* (2009) atribuyen la concentración de mercurio en sedimentos a la actividad de la termoeléctrica, donde las concentraciones identificadas pueden ocasionar daños en la biota (Raygoza-Viera *et al.*, 2014). Páez-Osuna y Osuna-Martínez (2015) destacan que los niveles de cobre y zinc en ostiones de *Crassostrea corteziensis* recolectados en el Estero de Urías exceden los máximos permisibles. Cardoso-Mohedano *et al.* (2015) evaluaron a través de un modelo numérico el impacto de la termoeléctrica en las variaciones de temperatura en el estero, encontrando que en la vertical el impacto se restringe a la sección superficial de la columna de agua y restringiéndose en la horizontal aproximadamente 100 m desde el origen de la descarga.

Se realizó el análisis de estructura forestal para las cinco parcelas establecidas en este sistema lagunar. Los valores mayores tanto de DAP_{130} como de altura promedio se registraron en la parcela ID 23, principalmente durante la segunda etapa (Figura 66). Los árboles de esta parcela, de tipo arbustivo, en general se encuentran en buen estado de conservación. Las parcelas donde se registraron valores más bajos de DAP_{130} y altura promedio, fueron la 24 y 25 (Figura 66,67), las dos más cercanas al canal que conduce a la termoeléctrica.

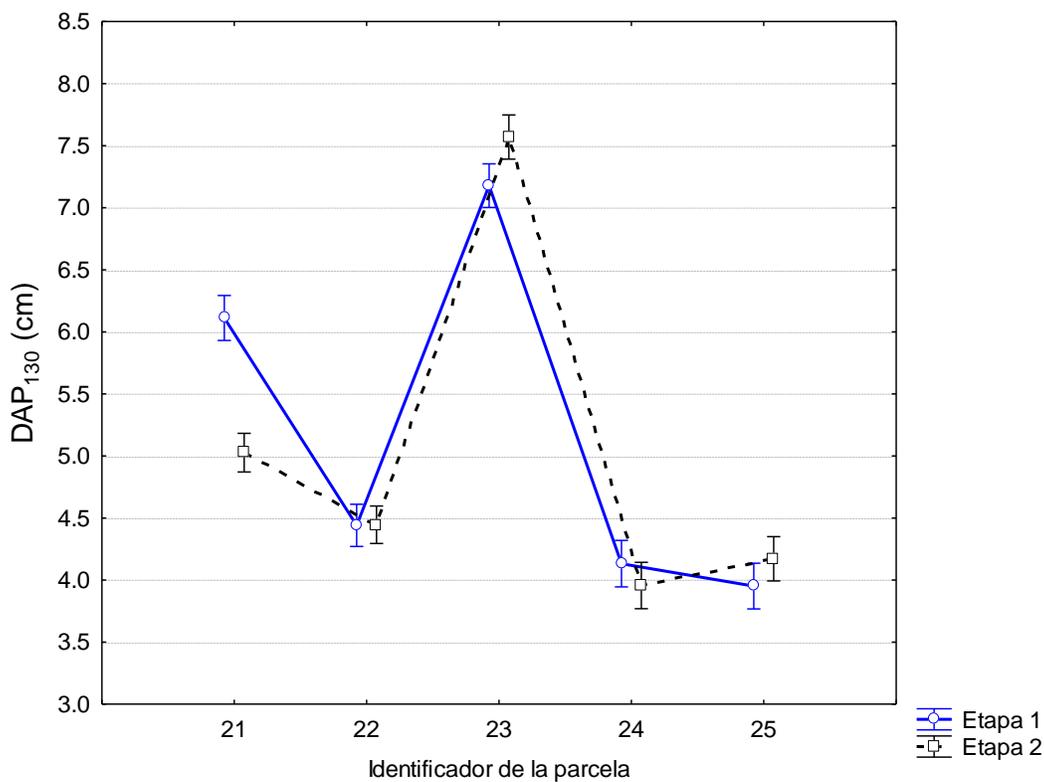


Figura 66. Comparación del DAP_{130} promedio en las parcelas realizadas en el Estero de Urías. Las barras muestran el error estándar asociado.

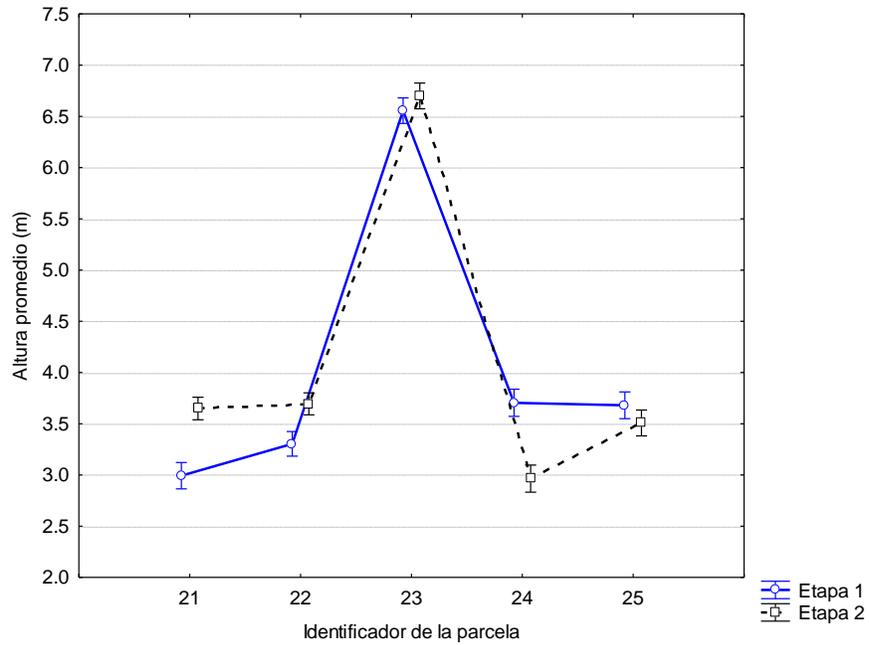


Figura 67. Altura promedio (m) entre parcelas localizadas en el Estero de Urías, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

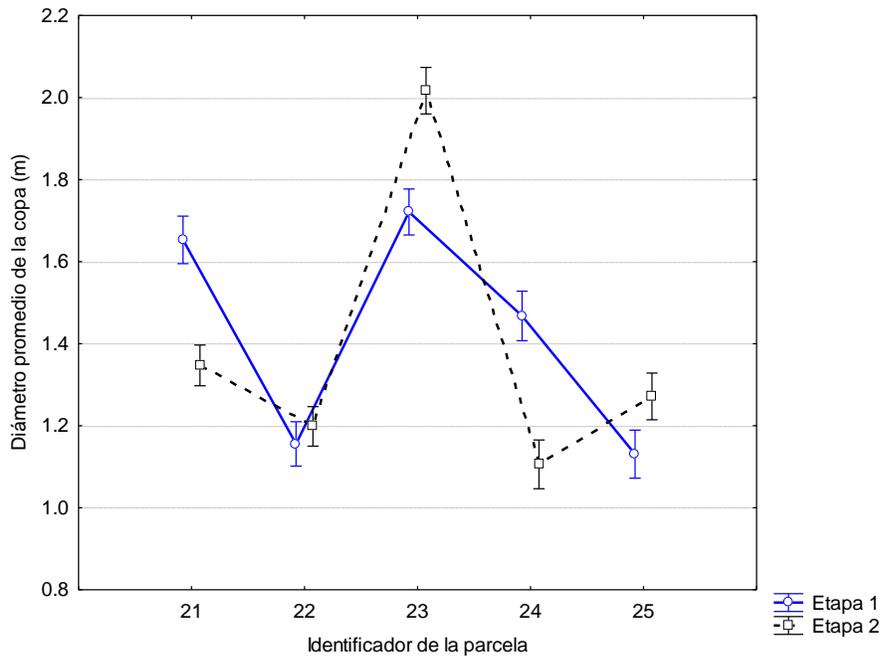


Figura 68. Comparación del diámetro promedio de la corona (m) entre parcelas localizadas en el Estero de Urías, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

Los resultados de estructura forestal de las cinco parcelas del Estero de Urías se muestran a continuación.

PARCELA URÍAS_1 (ID 21)

La parcela Urías_1 (ID 21; coordenada central 23.192162°, -106.398064°) fue definida en un área cercana al ejido Isla de la Piedra, Mazatlán, Sinaloa (Figura 69), junto al acceso vía terrestre (terracería) a esta localidad. En el sitio se encuentran instalados anuncios que indican que la zona ha sido objeto de acciones de rescate y conservación (Figuras 70, 71). Dentro de la parcela no se observó perturbación asociada a actividades humanas.



Figura 69. Parcela de 20 x 20 m ubicada en zona contigua a la localidad Isla de la Piedra (Localidad: Urías_1, Identificador de la parcela: 21). Coordenada central: 23.192162°, -106.398064°). Imagen: Google Earth Inc.



Figura 70. Anuncios instalados frente a la parcela Urías_1 (ID 21).



Figura 71. Detalle del frente de la parcela Urías_1 (ID 21), vista desde el camino de terracería que conduce a la localidad Isla de la Piedra.

En la primera etapa, se determinó la estructura forestal en la parcela de 20 x 20 m (Tabla 23; n=147 individuos con $DAP_{130} > 2.5$ cm), correspondiendo a un bosque monoespecífico de *A. germinans* (100%), con una densidad calculada de 3,675 fustes·ha⁻¹ y área basal de 12.29 m² ha⁻¹. Este resultado es similar al reportado por Agraz-Hernández (1999) en otras áreas ubicadas en el Estero de Urías (Vena El Caimán: AB=10.86 m² ha⁻¹; Vena El Zacate: AB=13.67 m² ha⁻¹). Se registró un DAP_{130} promedio de 6.11 cm y una altura promedio de 2.9 m (primera etapa). El Índice de Complejidad de Holdridge calculado fue de 13.07, que permite clasificarlo como un rodal en un estadio de desarrollo temprano. El Índice de Valor de Importancia fue de 300%. No se observó extracción de arbolado, mientras que la mortalidad observada fue de 3.4% siendo atribuida a causas naturales en todos los casos (DAP_{130} promedio de 5.88 cm) En la segunda etapa, con una total de 200 individuos, prevaleció el bosque monoespecífico de *A. germinans* (100%), con una densidad de 5,000 individuos ha⁻¹. El DAP_{130} promedio registrado fue de 5 cm, y altura promedio de 3.6 m. Altura promedio de neumatóforos observada de 20 cm. No se observó extracción, y la mortalidad observada fue de 2%, todos por muerte natural a excepción de un individuo por tala.

Tabla 23. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Urías 1 (Parcela ID 21).

Parcela ID=21; Urías 1	Etapa 1	Etapa 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	147	200
DAP_{130} promedio (cm)	6.11	5.03
Desviación estándar (cm) del DAP_{130} promedio	2.29	1.93
Altura total promedio (m)	2.99	3.65
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.85	1.15
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.33	0.54
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.59	0.35
Diámetro promedio de la copa (m)	3.31	2.70
Área basal (m ²)	0.49	0.46
Área basal (m ² /ha)	12.29	11.38
Densidad (ind/unidad de área)	0.3675	0.50
Densidad (ind/ha)	3675	5000
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	13.52	20.76



Figura 72. Detalle de la parcela de 20 x 20 m (Urías_1 ID 21). Bosque monoespecífico de *Avicennia germinans*.

PARCELA URÍAS_2 (ID 22)

La parcela Urías_2 (ID 22, Figura 73), se ubica junto al camino secundario que conduce a la localidad Isla de la Piedra. La coordenada central es 23.155250°, -106.342106° y corresponde a un bosque mixto con tipo fisonómico borde, con individuos con altura promedio de 3.4 m y DAP₁₃₀ de 4.4 cm, medidas registradas durante la primera etapa de estudio (junio 2015). Se registró abundancia de individuos de *L. racemosa* (63%, densidad de 2,650 individuos ha⁻¹) seguido de *A. germinans* (37%, densidad de 1,550 fustes ha⁻¹) con una n=168. En 2017, el número de individuo aumentó (n=212) manteniéndose la dominancia de *L. racemosa* (62%, densidad de 3,300 individuos ha⁻¹) sobre *A. germinans* (38%, densidad calculada de 2,000 individuos ha⁻¹). Se estimó un DAP₁₃₀ promedio de 4.5 cm y una altura promedio de 3.7 m. Tamaño promedio de neumatóforos de 15 cm. En general, la parcela se encuentra en buen estado de conservación.



Figura 73. Detalle de la parcela Urías_2, ID 22.

Tabla 24. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Urías_2 (Parcela ID 22).

Parcela ID=22; Urías 2	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	62	106	80	132
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.89	4.18	4.73	4.27
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.33	1.48	2.86	1.81
Altura total promedio (m)	3.10	3.50	3.27	3.95
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.73	1.28	1.48	1.12
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.83	0.94	0.53	0.54
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.39	0.51	0.27	0.23
Diámetro promedio de la copa (m)	2.55	2.16	2.64	2.24
Área basal (m ²)	0.14	0.16	0.19	0.22
Área basal (m ² /ha)	3.56	4.08	4.79	5.57
Densidad (ind/unidad de área)	0.155	0.265	0.20	0.33
Densidad (ind/ha)	1550	2650	2000	3300
Densidad relativa	36.90	63.10	37.74	62.26
Frecuencia relativa	36.90	63.10	37.74	62.26
Dominancia relativa	46.61	53.39	46.26	53.74
Valor de importancia	120	180	122	178
Índice de complejidad de Holdridge	1.71	3.79	3.13	7.26

PARCELA URÍAS_3 (ID 23)

La coordenada central es 23.152633°, -106.333965°. Existe dominancia de *A. germinans* en ambos periodos de estudio (2016, 2017). En el primer año (n=157), el mangle negro representaba el 93.1% del total, seguido de *L. racemosa* (6.7%) y finalmente *R. mangle* con un solo individuo (2%), registrando una densidad relativa promedio de 3,925 individuos·ha⁻¹ (Tabla 25). La altura promedio registrada fue de 6.6 m y DAP₁₃₀ promedio de 7.2 cm. En general, la parcela se encuentra en buen estado de conservación. El tipo fisonómico es de borde (Figura 74). En la segunda etapa, la dominancia de *A. germinans* (89.4%) se mantuvo, seguido de *L. racemosa* (10.4%), y *R. mangle* (2%). Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 7.6 cm, y una altura promedio de 6.7 m. En ninguno de las dos etapas se observó extracción, pero sí mortalidad. En 2016 el porcentaje de mortalidad fue de 13%, mientras que en 2017 del 9%. Todos por muerte natural excepto un individuo por tala en cada año.



Figura 74. Detalle de la parcela Urías_3 (ID 23).

Tabla 25. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Urías_3 (Parcela ID 23).

Parcela ID=23; Urías 3	Etapa 1			Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie						
Número de individuos (n)	151	5	1	142	10	1
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	7.07	10.98	4.80	7.44	9.71	5
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	3.27	3.74	NA	3.23	3.90	NA
Altura total promedio (m)	6.48	9.40	4	6.58	8.70	4
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	2.59	1.67	NA	3	2.44	NA
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.17	1.56	0.6	0.67	0.79	0.40
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.78	0.70	NA	0.42	0.36	NA
Diámetro promedio de la copa (m)	3.36	5.90	3.75	3.86	6.18	6.80
Área basal (m ²)	0.72	0.05	0.002	0.73	0.08	0.002
Área basal (m ² /ha)	17.97	1.29	0.05	18.32	2.12	0.05
Densidad (ind/unidad de área)	0.3775	0.0125	0.0025	0.355	0.025	0.0025
Densidad (ind/ha)	3775	125	25	3550	250	65
Densidad relativa	96.18	3.18	0.64	92.81	6.54	0.65
Frecuencia relativa	96.18	3.18	0.64	92.81	6.54	0.65
Dominancia relativa	93.06	6.70	0.23	89.41	10.35	0.24
Valor de importancia	285	13	2	275	23	2
Índice de complejidad de Holdridge	43.94	0.15	0.001	42.77	0.46	0.001

PARCELA URÍAS_4 (ID 24)

La parcela Urías_4 (ID 24) -coordenada central de 23.190374°,-106.362162°- se caracteriza por presentar la zonación clásica de *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*. Se observaron plántulas de *R. mangle*. El tipo fisonómico es de borde (Figuras 75,76). La altura promedio de los individuos fue de 3.7 m durante la primera etapa, con un DAP₁₃₀ promedio de 4.1 cm. Se observó dominancia de *A. germinans* (74.43%) y *L. racemosa* (25.57%), con una densidad promedio de 3,450 individuos·ha⁻¹. En 2017, el número de individuos de *A. germinans* disminuyó a 62%, aumentando el de *L. racemosa* (38%), aumentando también la densidad a 3,475 individuos ha⁻¹ (n=139). En la segunda etapa se registró un DAP₁₃₀ promedio de 4 cm y una altura promedio de 3 m. El tamaño promedio de los neumatóforos fue de 25 cm. En el primer muestreo se observó extracción en 3 individuos de la especie *L. racemosa* con un diámetro a la altura del corte promedio de 5 cm, en el segundo muestreo no se obtuvo ningún registro de extracción. La mortalidad

varió de un año a otro, en el primer muestro se observaron 11 individuos muertos (7 por muerte natural y 4 por tala), 10 de ellos correspondientes a *L. racemosa* con un DAP₁₃₀ promedio de 4.7 cm, mientras que en 2017 la mortalidad aumentó, observándose 14 individuos, todos ellos *A. germinans* con un DAP₁₃₀ promedio de 4.2 cm y mortalidad natural.

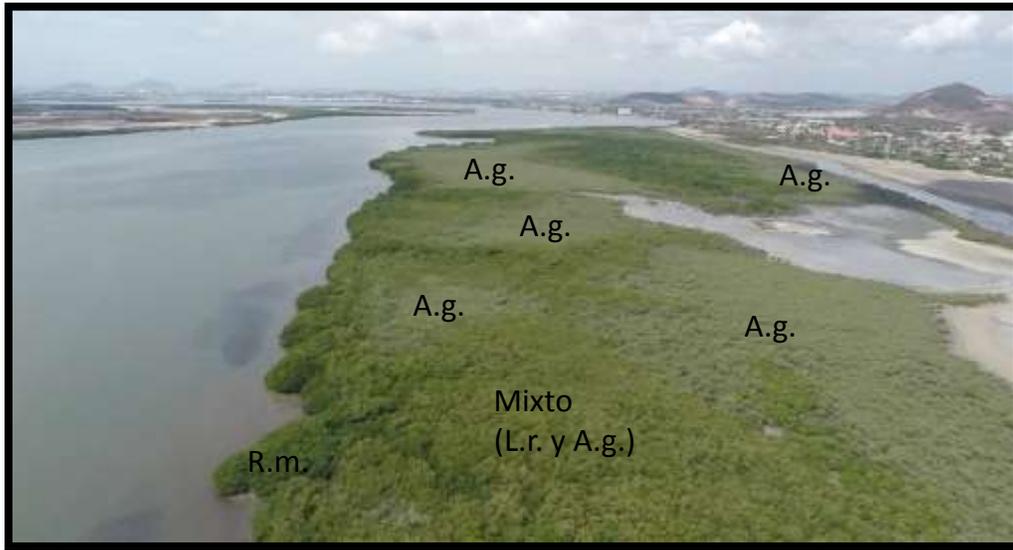


Figura 75. Margen este del Estero de Urías. Se observa la zonación de *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans* en la barra donde se ubica la parcela Urías_4 (ID 24). Fotografía aérea tomada desde la posición: 23.190374°, -106.362162°.



Figura 76. Detalle del dosel en el margen este del Estero de Urías. En esta sección se ubica la parcela Urías_4 (ID 24). Fotografía realizada con un Dron Phantom 2 DJI.

Durante el primer muestreo realizado al interior del Estero de Urías, se observó abundante contaminación tipo PET en el margen este, mientras que en la segunda etapa la concentración de basura disminuyó.

Tabla 26. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Urías_4 (Parcela ID 24).

Parcela ID=24; Urías 4	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	95	43	86	53
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.29	3.79	4.08	3.75
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.45	1.07	1.63	0.89
Altura total promedio (m)	3.61	3.90	2.81	3.22
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.34	1.07	0.87	0.76
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.76	0.82	0.40	0.46
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.38	0.43	0.28	0.34
Diámetro promedio de la copa (m)	2.90	3	2.16	2.28
Área basal (m ²)	0.15	0.05	0.13	0.06
Área basal (m ² /ha)	3.81	1.31	3.26	1.54
Densidad (ind/unidad de área)	0.2375	0.1075	0.215	0.1325
Densidad (ind/ha)	2375	1075	2150	1325
Densidad relativa	68.84	31.16	61.87	38.13
Frecuencia relativa	68.84	31.16	61.87	38.13
Dominancia relativa	74.43	25.57	67.89	32.11
Valor de importancia	212	88	192	108
Índice de complejidad de Holdridge	3.27	0.55	1.97	0.66

PARCELA URÍAS_5 (ID 25)

La coordenada central es 23.202479°, -106.370143°. El tipo fisonómico es de borde, con altura promedio observada de 3.7 m durante la primer etapa de estudio, encontrando a las especies *L. racemosa* (54.2%) *A. germinans* (45.5%) y *R. mangle* (0.29%), con DAP₁₃₀ promedio de 4 cm. Se observó una densidad promedio general de 3,575 individuos ha⁻¹ (n=143; Tabla 27). En la zona posterior de la parcela, hacia el canal que se deriva de la planta termoeléctrica se encuentran individuos de *A. germinans* tipo arbusivo. En el segundo muestreo, la proporción de especies se mantuvo, observándose dominancia de *L. racemosa* (58.7%), seguido de *A. germinans* (41%) y *R. mangle* (0.3%). La densidad general promedio calculada fue de 3,800 fustes ha⁻¹. El DAP₁₃₀ promedio registrado fue de

4.2 cm, con una altura promedio de 3.5 m. En ninguna de las etapas de mostró extracción. La mortalidad fue baja durante el 2016 (3 individuos y todos por causa natural), sin embargo, en el segundo muestreo se observaron 23 individuos muertos (22 de ellos *A. germinans* y uno de *L. racemosa*), todos por muerte natural.



Figura 77. Detalle de la parcela Urías_5 (ID 25).

Tabla 27. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Urías_5 (Parcela ID 25).

Parcela ID=25; Urías 5	Etapa 1			Etapa 2		
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Rm</i>
Especie						
Número de individuos (n)	44	98	1	45	106	1
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.64	3.66	2.70	4.76	3.94	3
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	2.24	0.86	NA	2.13	1.06	NA
Altura total promedio (m)	3.44	3.81	1.20	3.26	3.63	1.20
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	0.98	0.78	NA	1.12	1.08	NA
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.69	0.74	0.10	0.61	0.61	0.30
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.37	0.35	NA	0.27	0.28	NA
Diámetro promedio de la copa (m)	2.62	2.10	2.25	2.84	2.40	3.60
Área basal (m ²)	0.09	0.11	0.001	0.10	0.14	0.00
Área basal (m ² /ha)	2.28	2.71	0.01	2.39	3.42	0.02
Densidad (ind/unidad de área)	0.11	0.245	0.0025	0.1125	0.265	0.0025
Densidad (ind/ha)	1100	2450	25	1125	2650	25
Densidad relativa	30.77	68.53	0.70	29.61	69.74	0.66
Frecuencia relativa	30.77	68.53	0.70	29.61	69.74	0.66
Dominancia relativa	45.54	54.16	0.29	41.02	58.67	0.30
Valor de importancia	107	191	2	100	198	2
Índice de complejidad de Holdridge	0.86	2.53	0	0.88	3.29	0

HUIZACHE-CAIMANERO

En el caso del sistema lagunar Huizache-Caimanero, se realizó el estudio de estructura forestal de acuerdo a parcelas establecidas (Figura 78, Tabla 28), haciendo un análisis comparativo entre ambas etapas de muestreo. Los valores más altos de DAP_{130} y altura promedio observados, se registraron en la parcela ID 26 (sitio Botadero_1), con diferencias significativas entre ambos periodos (Figuras 79 y 80). En esta parcela se registraron individuos con corona tipo intermedia a dominante, maduros y con repoblamiento nulo en la segunda etapa.



Figura 78. Ubicación geográfica de las 5 parcelas establecidas en el sistema lagunar Huizache-Caimanero.

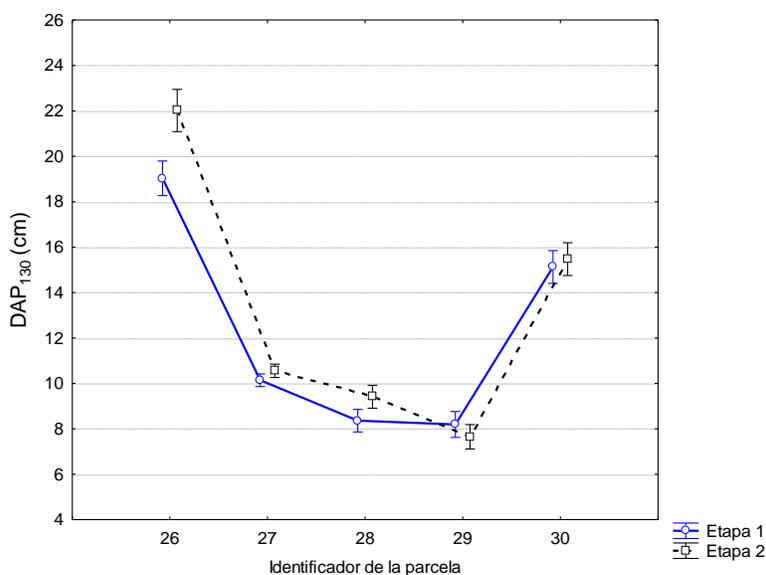


Figura 79. Comparación del DAP_{130} promedio en las parcelas realizadas en el sistema lagunar Huizache-Caimanero. Las barras muestran el error estándar asociado.

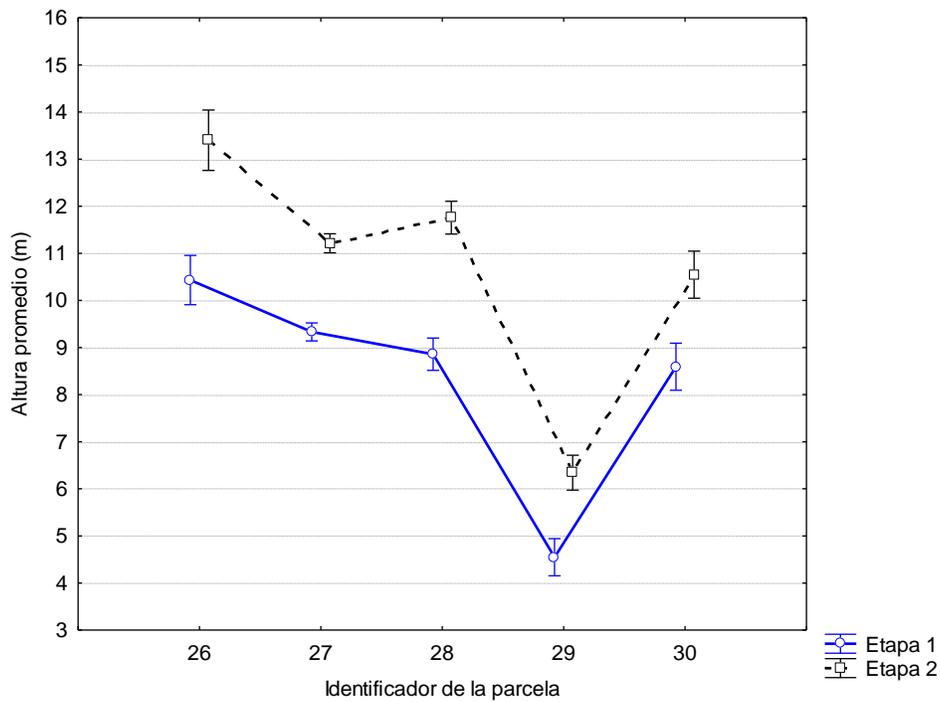


Figura 80. Altura promedio entre parcelas localizadas en Huizache-Caimanero, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

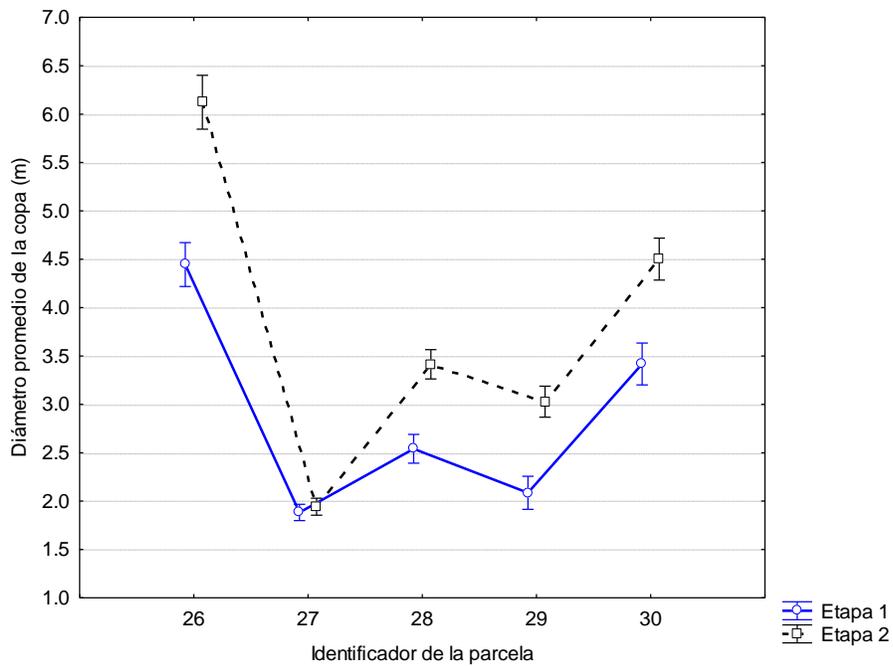


Figura 81. Comparación del diámetro promedio de la copa (m) entre parcelas localizadas en el sistema Huizache-Caimanero, Sinaloa. Las barras muestran el error estándar asociado.

PARCELA BOTADERO_1 (ID 26)

La parcela ID 26 se clasifica como tipo cuenca, ubicada en la zona conocida como Botadero en la laguna Huizache, se encuentra adyacente a la cooperativa pesquera La Sinaloense y al tapo conocido también como Botadero (Figura 82).



Figura 82. Ubicación de El Tapo El Botadero en la laguna Huizache. Zona adyacente a la parcela ID 26. Fuente: StreetView generada con el equipo Trekker de Google; <https://goo.gl/maps/mAiUbdwaTSD2>.

Con referencia a sus atributos estructurales (Tabla 28), durante el primer muestreo la parcela ID 26 se encontraba conformada por las especies *A. germinans* y *L. racemosa*, con dominancia de la última (57.12%), obteniendo una densidad general de 750 fustes ha^{-1} . Es un rodal con una altura promedio de ~10 m, con un DAP_{130} mayor en el caso de *A. germinans* (11.6 cm). Se registró una mortalidad de ~12% en el caso de *L. racemosa* y un reclutamiento mayor en el caso de *A. germinans* (62,500 plántulas ha^{-1}). En la segunda etapa, se observó una ligera dominancia de *L. racemosa* (55%) sobre *A. germinans* (45%), con una densidad promedio general de 500 individuos ha^{-1} . El DAP_{130} promedio fue de 22 cm, con una altura promedio de 13.4 m. En ninguna de las dos etapas se observó extracción. La mortalidad en 2015 fue de 5 individuos, todos por causa natural, con un DAP_{130} promedio de 8 cm; en 2017 el número aumentó a 8 individuos con un DAP_{130} promedio de 9 cm, todos por muerte natural.

Tabla 28. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Botadero_1 (Parcela ID 26).

Parcela ID=26; Botadero 1	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	10	20	9	11
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	20.57	18.26	23.36	20.92
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	11.56	6.63	10.12	5.58
Altura total promedio (m)	10.30	10.53	12.89	13.82
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	3.78	1.95	2.15	1.78
Altura del fuste limpio promedio (m)	2.72	2.48	0.96	0.85
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.85	0.99	0.38	0.30
Diámetro promedio de la copa (m)	9.64	8.62	12.88	11.72
Área basal (m ²)	0.43	0.57	0.45	0.40
Área basal (m ² /ha)	10.67	14.21	11.25	10.06
Densidad (ind/unidad de área)	0.025	0.05	0.0225	0.275
Densidad (ind/ha)	250	500	225	275
Densidad relativa	33.33	66.67	45	55
Frecuencia relativa	33.33	66.67	45	55
Dominancia relativa	42.88	57.12	52.78	47.22
Valor de importancia	110	190	143	157
Índice de complejidad de Holdridge	2.75	7.48	3.26	3.82

PARCELA BOTADERO_2 (ID 27)

En el caso de la parcela ID 27, se identificó con tipo fisonómico ribereño. Se encuentra localizada en la laguna Huizache, cerca de la zona de la desembocadura del Río Presidio (Figura 83). Los atributos estructurales para el primer año de muestreo (Tabla 29) se caracterizan por una dominancia de *L. racemosa* (99.75%), seguido de *A. germinans* (0.25%), DAP₁₃₀ promedio de 10.1 cm, altura promedio de 9.3 m y una densidad de 5,600 ind ha⁻¹. El reclutamiento de *L. racemosa* y *A. germinans* fue nulo. En el segundo año de muestreo, la dominancia de *L. racemosa* se mantuvo (97.96%) y en menor proporción *A. germinans* (2.04%). Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 10.5 cm, una altura promedio de 11.2 m y una densidad de 5,025 fustes ha⁻¹.



Figura 83. Vista panorámica (panel superior) y detalle (panel inferior) de la parcela ID 27 localizada en la zona de la desembocadura del Río Presidio en la laguna Huizache.

Tabla 29. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Botadero_2 (Parcela ID 27).

Parcela ID=27; Botadero 2	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	3	221	6	195
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	4.47	10.22	7.43	10.65
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	1.27	3.24	5.96	3.49
Altura total promedio (m)	3.83	9.41	6.33	11.36
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.76	2.68	4.96	3.34
Altura del fuste limpio promedio (m)	0.80	1.70	0.97	1.29
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.62	1.26	0.68	0.59
Diámetro promedio de la copa (m)	3.20	3.78	3.83	3.89
Área basal (m ²)	0.005	1.99	0.04	1.92

Área basal (m ² /ha)	0.12	49.81	1	48.08
Densidad (ind/unidad de área)	0.0075	0.5525	0.015	0.4875
Densidad (ind/ha)	75	5525	150	4875
Densidad relativa	1.34	98.66	2.99	97.01
Frecuencia relativa	1.34	98.66	2.99	97.01
Dominancia relativa	0.25	99.75	2.04	97.96
Valor de importancia	3	297	8	292
Índice de complejidad de Holdridge	0.004	258.84	0.09	266.36

En la primera etapa de muestreos, se observó una extracción de 9 individuos dentro de la parcela 20 x 20 m, todos correspondientes a *L. racemosa* con un DAP₁₃₀ promedio a la altura del corte de 7.2 cm. Durante la segunda etapa de muestreos, no se observó extracción. En cuanto a la mortalidad, en la primera etapa se observaron 36 individuos muertos (tala: 23; causa natural: 13), mientras que en la segunda etapa se registraron 59 individuos muertos (tala: 17; causa natural: 42). La tala en esta zona es una práctica común durante el periodo de Semana Santa y verana, ya que se utilizan los troncos para construir palapas en las playas aledañas como se discute de manera más amplia en la sección *Mortalidad*.



Figura 84. Individuos de *Laguncularia racemosa* talados en la parcela ID 27 en la laguna Huizache (abril de 2017).

PARCELA CAIMANERO_3 (ID 28)

Tipo ribereño, con coordenada central 22.875146°, -106.062180° (Figura 85). De acuerdo a sus atributos estructurales (Tabla 30), durante la primera etapa de muestreo en 2015, la parcela ID 28 mostró dominancia de *L. racemosa* (90.09%; n=70) y en menor proporción *A. germinans* (9.91%), registrándose una densidad de 1,750 fustes ha⁻¹. Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 8.4 cm, y una altura promedio de 8.9 m. En la siguiente etapa, la dominancia de *L. racemosa* se mantuvo (70.95%; n=68) aumentando el número de individuos de *A. germinans* (29.05%). Se registró un DAP₁₃₀ promedio de 9.4 cm, con una altura promedio de 11.8 m y una densidad de 1,700 individuos ha⁻¹. En el 2015 se observó una extracción en un 5.4% del total, y 0% en el 2017. La mortalidad aumentó de la primera a la segunda etapa, mientras en el 2015 sólo se observó un individuo muerto de forma natural (árbol afectado por termitas) de la especie *L. racemosa* con un DAP₁₃₀ de 5 cm, en 2017 esta cifra aumentó a 8 individuos con un DAP₁₃₀ promedio de 5.4, todos correspondientes a *L. racemosa* (ver sección *Mortalidad*).



Figura 85. Detalle de la parcela ID 28 en la laguna El Caimanero.

Tabla 30. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Caimanero_3 (Parcela ID 28).

Parcela ID=28; Caimanero 3	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie				
Número de individuos (n)	2	68	5	63
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	15.70	8.14	19.36	8.62
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	8.20	2.95	7.77	2.79
Altura total promedio (m)	11	8.79	15.40	11.47
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.41	1.85	2.61	2.76
Altura del fuste limpio promedio (m)	2.65	5.69	1.04	0.75
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	1.20	1.77	0.46	0.25
Diámetro promedio de la copa (m)	11	4.90	12.42	6.38
Área basal (m ²)	0.04	0.40	0.17	0.41
Área basal (m ² /ha)	1.10	10	4.15	10.15
Densidad (ind/unidad de área)	0.005	0.17	0.0125	0.1575
Densidad (ind/ha)	50	1700	125	1575
Densidad relativa	2.86	97.14	7.35	92.65
Frecuencia relativa	2.86	97.14	7.35	92.65
Dominancia relativa	9.91	90.09	29.05	70.95
Valor de importancia	16	284	44	256
Índice de complejidad de Holdridge	0.06	14.95	0.80	18.33

PARCELA CAIMANERO_4 (ID 29)

Los resultados de estructura forestal para la parcela Caimanero_4 (coordenada central 22.874552°, -106.057964°; tipo fisonómico cuenca) son los siguientes (Tabla 31). En las dos etapas de estudio (2016 y 2017), se observó dominancia de *A. germinans* en un 100 % en ambos casos. En el primer muestreo, el DAP₁₃₀ promedio de los individuos fue de 8.2 cm, con una altura promedio de 4.5 m y una densidad de 1,325 fustes·ha⁻¹; en el segundo, el DAP₁₃₀ promedio disminuyó a 7.7 cm (las diferencias no fueron significativas estadísticamente), mientras que la altura registró 6.3 m. Con una n=60, la densidad observada fue de 1,500 individuos ha⁻¹. En ninguna de las etapas se observó extracción. En 2016 se registró un individuo muerto (especie *A. germinans*, DAP₁₃₀ 6 cm), por causas naturales, mientras que en la segunda etapa no se registró mortalidad.



Figura 86. Detalle de la parcela ID 29 en la laguna El Caimanero.

Tabla 31. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Caimanero_4 (Parcela ID 29).

Parcela ID=29; Caimanero 4	Etapa 1	Etapa 2
Especie	Ag	Ag
Número de individuos (n)	53	60
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	8.19	7.65
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	4.05	4.29
Altura total promedio (m)	4.53	6.34
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.83	3.16
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.61	0.35
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.56	0.20
Diámetro promedio de la copa (m)	4.18	6.06
Área basal (m ²)	0.35	0.36
Área basal (m ² /ha)	8.65	9.03
Densidad (ind/unidad de área)	0.1325	0.15
Densidad (ind/ha)	1325	1500
Densidad relativa	100	100
Frecuencia relativa	100	100
Dominancia relativa	100	100
Valor de importancia	300	300
Índice de complejidad de Holdridge	5.19	8.59

PARCELA CAIMANERO_5 (ID 30)

Los resultados para el análisis de estructura forestal en la parcela Caimanero_5 (Figura 87; coordenada central 22.848025°, -106.031533°) son los siguientes. En la primera etapa (mayo, 2016) con 33 individuos dentro de la parcela 20 x 20 m, se registró dominancia de *A. germinans* (96.23%) y en menor proporción *L. racemosa* (3.78%) con una densidad relativa de 825 fustes ha⁻¹ (Tabla 32). El DAP₁₃₀ promedio fue de 15.12 cm, con una altura promedio de 8.6 m. En la siguiente etapa (octubre, 2017) se observó una proporción similar en el número de especies, registrando un 95.80% de *A. germinans* y 4.20% de *L. racemosa*. DAP₁₃₀ promedio de 15.5 cm, una altura promedio de 10.5 m, y una densidad promedio de 825 individuos·ha⁻¹. En ninguno de los periodos se observó extracción. La mortalidad fue por causa natural en los dos años, registrándose 3 individuos en la primera etapa (DAP₁₃₀ promedio = 9.9 cm) y 3 en la última (DAP₁₃₀ promedio = 9.8 cm).



Figura 87. Detalle de la parcela ID 30 en la laguna El Caimanero.

Tabla 32. Resumen general del análisis de estructura forestal en la parcela Caimanero_5 (Parcela ID 30).

Parcela ID=30; Caimanero 5	Etapa 1		Etapa 2	
	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Especie	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>	<i>Ag</i>	<i>Lr</i>
Número de individuos (n)	31	2	31	2
DAP ₁₃₀ promedio (cm)	15.29	12.55	15.60	13.45
Desviación estándar (cm) del DAP ₁₃₀ promedio	5.13	0.64	5.02	1.48
Altura total promedio (m)	8.53	9.50	10.68	8.50
Desviación estándar (m) de la altura total promedio	1.88	0.71	3.53	0.71
Altura del fuste limpio promedio (m)	1.08	0.43	0.83	0.50
Desviación estándar (m) de la altura del fuste limpio	0.67	0.04	0.36	0.14
Diámetro promedio de la copa (m)	6.88	6.20	9.24	5.26
Área basal (m ²)	0.63	0.03	0.65	0.03
Área basal (m ² /ha)	15.78	0.62	16.30	0.71
Densidad (ind/unidad de área)	0.0775	0.005	0.0775	0.005
Densidad (ind/ha)	750	50	775	50
Densidad relativa	93.94	6.06	93.94	6.06
Frecuencia relativa	93.94	6.06	93.94	6.06
Dominancia relativa	96.23	3.78	95.80	4.20
Valor de importancia	284	16	284	16
Índice de complejidad de Holdridge	10.43	0.03	13.49	0.03

DATA LOGGERS

Se muestran los resultados derivados de los data loggers de salinidad, temperatura y nivel de agua instalados en cada sistema lagunar. Para convertir los valores de conductividad a ppm se utilizó el software HOBOWare Pro.

En la laguna de Agiabampo, se instalaron data loggers en la parcela Agiabampo_3 (ID 3). En el caso del nivel del agua, los máximos fueron observados durante el verano, con un valor promedio de ~0.2 m, siendo similar a la altura promedio de los neumatóforos (0.25 m). Los valores máximos mostraron un incremento durante el verano de 2017 (valor máximo de 0.52 m en el verano de 2016, y de 0.61 m en 2017).

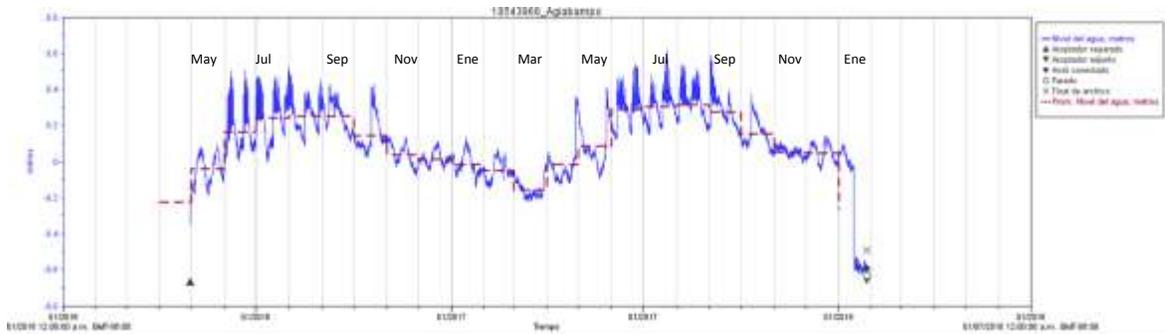


Figura 88. Nivel del agua (m) en la parcela ID 3 en Agiabampo. Data logger HOBO U20L-01. Registros realizados del 29 de abril de 2016 al 17 de enero de 2018.

En el caso de la temperatura intersticial (Figura 89), los valores máximos fueron registrados en agosto y septiembre (2016-2017), con un valor promedio máximo de 28.44 °C en agosto del 2016. Con excepción de mayo y agosto, la comparación interanual de cada mes (ANOVA) fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$).

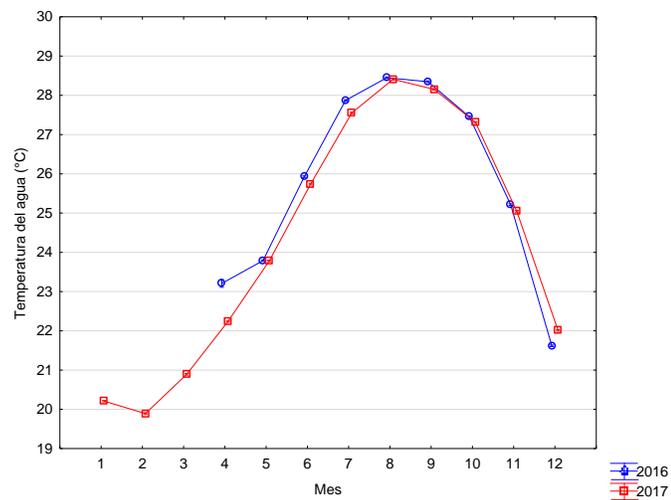


Figura 89. Temperatura del agua intersticial (°C) en la parcela ID 3 en Agiabampo. Data logger HOBO U20L-01. Registros realizados de abril de 2016 a diciembre de 2018.

Para el caso de la laguna de Ceuta, los data loggers fueron instalados en la parcela ID 16. Los valores del nivel del agua (Figura 90) se observaron en el intervalo de -0.412 y 0.373 m, con pulsos superiores a 0.2 m y un promedio general de -0.054 m. De acuerdo a observaciones realizadas *in situ* el nivel de marea máxima fue de 0.6 m. La altura promedio de los neumatóforos para esta parcela fue de 0.27 m, siendo acorde a las variaciones hidrodinámicas más frecuentes del sitio (Figura 90).

Abr Jun Ago Oct Dic Feb Abr Jun Ago Oct

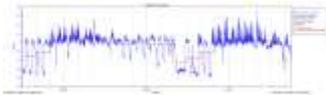


Figura 90. Nivel del agua (m) en la parcela ID 16 en la laguna de Ceuta. Data logger HOBO U20L-01. Periodo: 01 de abril de 2016 al 15 de noviembre de 2017.

La temperatura intersticial (°C) en la parcela ID 16 registró valores entre 18.24 y 32.19 °C. La comparación interanual 2016-2017 (Figuras 91, 92), mostró un desfase en el valor promedio máximo de la temperatura intersticial, ocurriendo en julio durante 2016 y en agosto en el siguiente año. Las diferencias de los promedios mensuales entre años fueron significativas en todos los casos (ANOVA; prueba *a posteriori* de Tukey).

Abr Jun Ago Oct Dic Feb Abr Jun Ago Oct

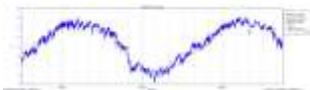


Figura 91. Temperatura intersticial (°C) en la parcela ID 16 en laguna de Ceuta. Data logger HOBO U20L-01. La línea azul indica los valores diarios registrados y la línea roja el promedio mensual. Periodo: abril de 2016 a noviembre de 2017.

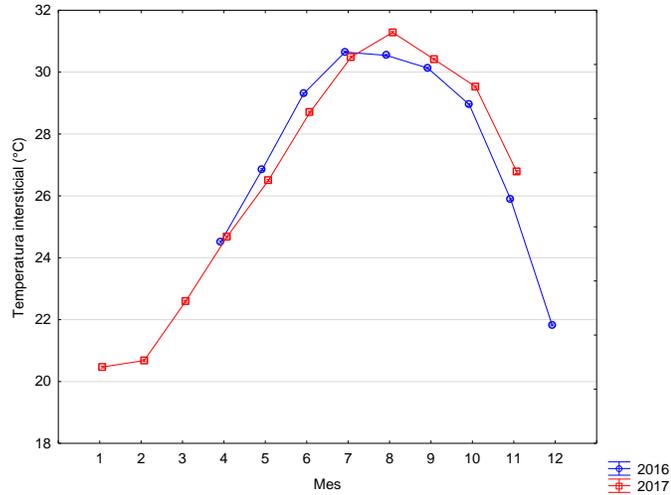


Figura 92. Temperatura intersticial en la parcela ID 16 en laguna de Ceuta. Data logger HOBO U20L-01. Periodo: 01 de abril de 2016-15 de noviembre de 2017.

En el caso del Estero de Urías (parcela ID 22), la salinidad intersticial registró valores cercanos a las 35 unidades en noviembre de 2015, mientras que los valores menores fueron observados en febrero del siguiente año (Figuras 93, 94).

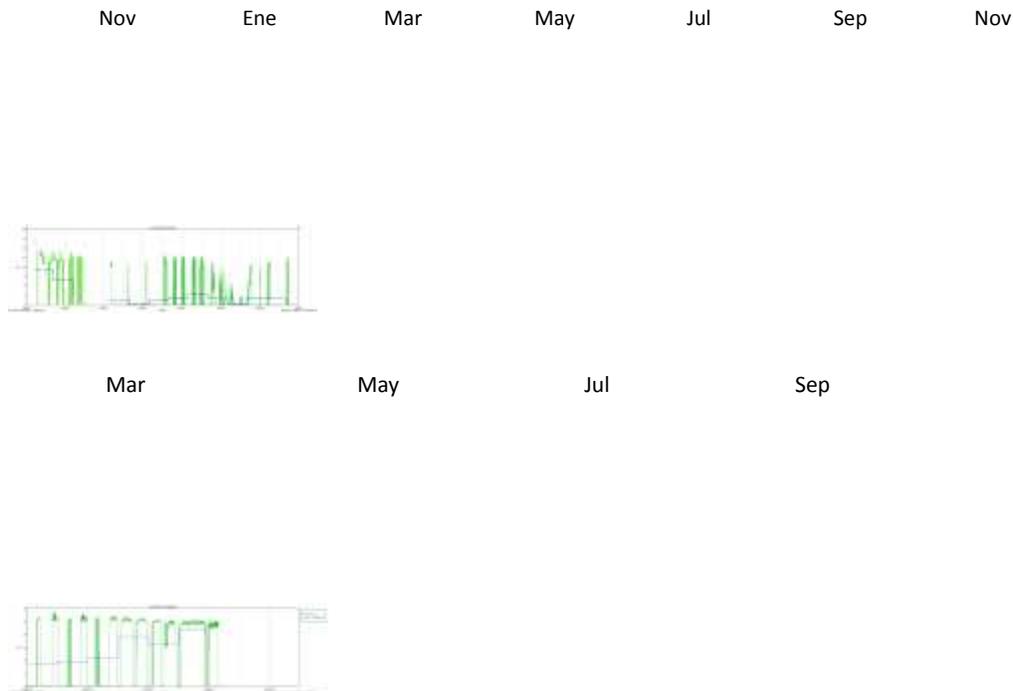


Figura 93. Salinidad intersticial (ppt) con temporalidad diaria (línea verde) y promedio del valor mensual (línea azul discontinua) en el Estero de Urías (parcela ID 22). Panel superior: noviembre 2015-diciembre 2016. Panel inferior: marzo-septiembre 2017.

La comparación interanual mostró que la salinidad intersticial fue mayor en 2017, en comparación con el año previo (Figura 94). Durante la elaboración del presente informe no fue posible obtener datos de precipitación durante 2017, sin embargo, es posible que en el caso de 2016 la menor salinidad registrada durante el verano sea resultado de una mayor precipitación en comparación con valores históricos (Figura 95).

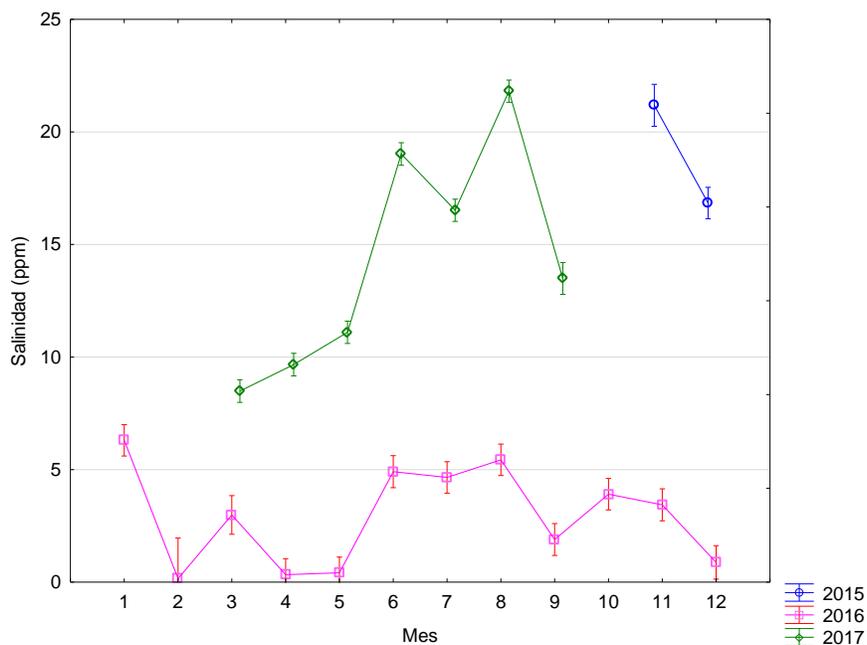


Figura 94. Comparación interanual del promedio mensual de la salinidad intersticial en el Estero de Urías (parcela ID 22) durante 2015-2017.

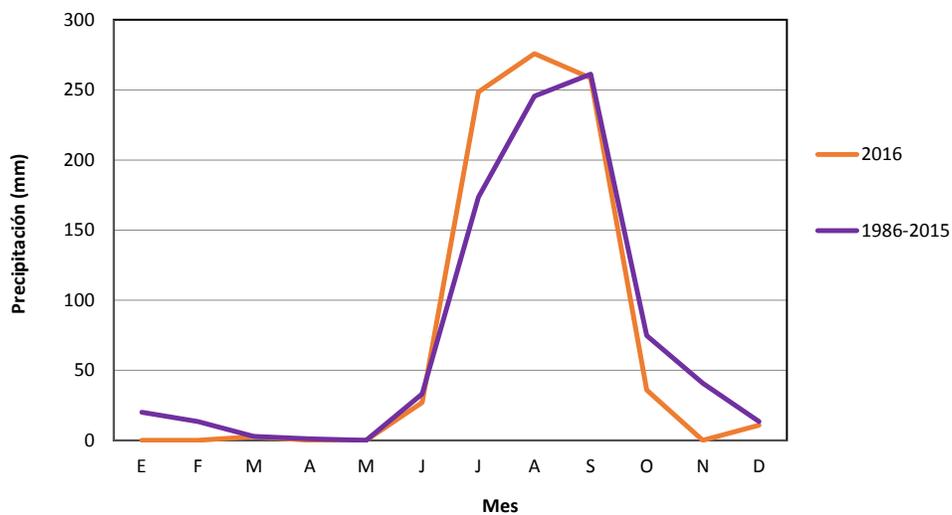


Figura 95. Precipitación (mm) registrada en Mazatlán durante 2016 y 1986-2015. Fuente: Comisión Nacional del Agua (2016, 2017).

Respecto a la temperatura intersticial en la parcela ID 22 en Estero de Urías (Figuras 96,97), 2016 fue en general más cálido que 2017.

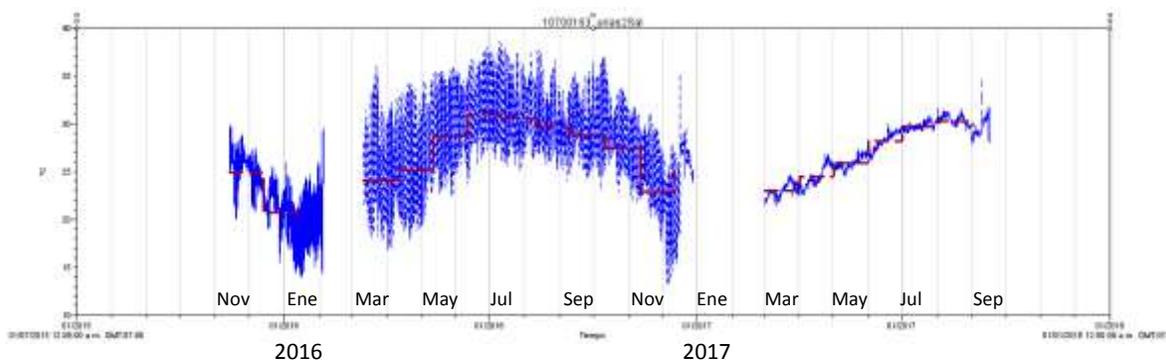


Figura 96. Temperatura intersticial con temporalidad diaria (línea azul) y promedio mensual (línea roja discontinua) en el Estero de Urías (parcela ID 22). Noviembre de 2015-Septiembre de 2017.

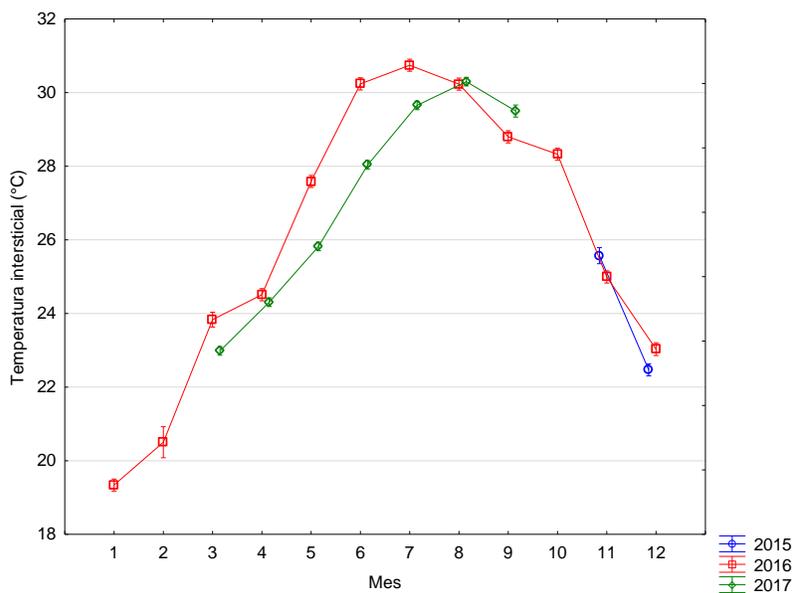


Figura 97. Temperatura intersticial en la parcela ID 22 en el Estero de Urías. Noviembre de 2015-Septiembre de 2017.

El nivel de agua en esta parcela registró una variación amplia, con pulsos que pueden alcanzar los 0.2 m, aunque en general por debajo de los 0 m (Figura 98). Los menores valores de inundación promedio fueron observados en 2016 (Figura 99).



Figura 98. Nivel de agua (m) (parcela ID 22) en el Estero de Urías. Julio de 2015-Septiembre de 2017.

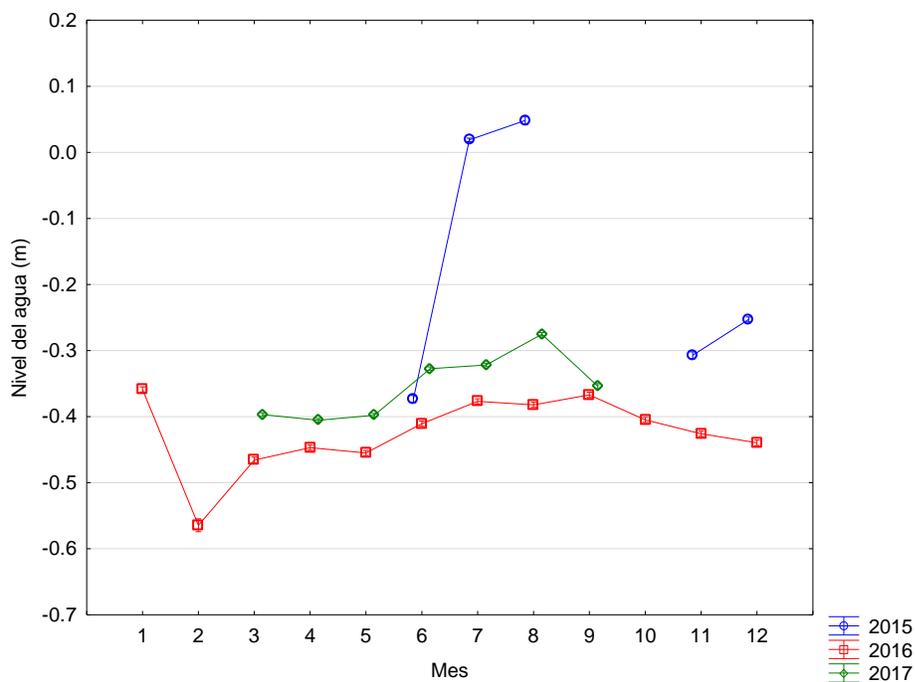


Figura 99. Comparación interanual del nivel del agua (m) en la parcela ID 22 en el Estero de Urías. Junio de 2015-septiembre de 2017.

En la laguna Huizache (parcela ID 27), se instalaron data loggers para registrar las variables mencionadas anteriormente. En el caso de la salinidad (Figuras 100, 101), los mayores valores intersticiales ocurrieron en julio de 2015. A partir de noviembre de 2015 se observó una tendencia negativa en la salinidad promedio, observándose el menor valor promedio en abril de 2017.



Figura 100. Salinidad intersticial (ppm) con temporalidad diaria (línea verde) y promedio del valor máximo mensual (línea roja discontinua) en la laguna Huizache (parcela ID 27).

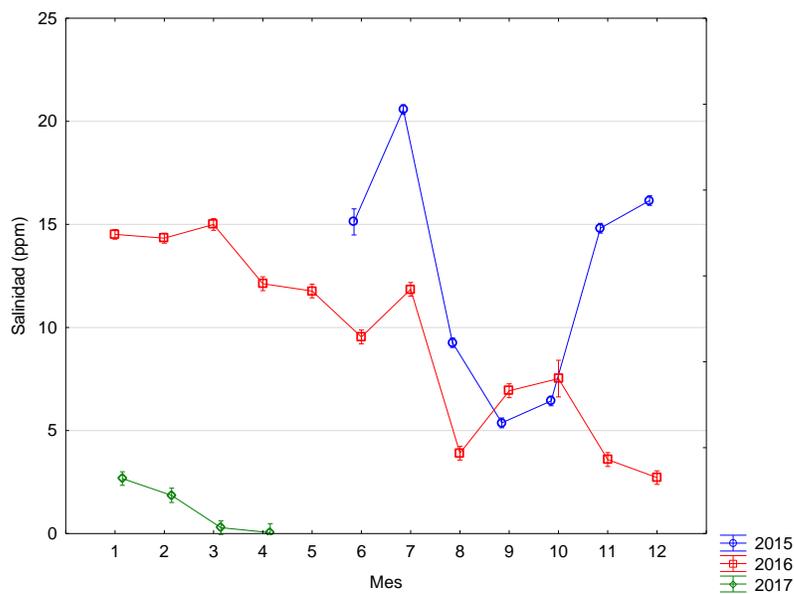


Figura 101. Comparación interanual de la salinidad (ppm) en la parcela ID 27 en la laguna Huizache. Junio de 2015-septiembre de 2017.

La temperatura intersticial promedio (Figura 102, 103) registró los valores máximos en julio-septiembre, observándose el mayor valor promedio en agosto de 2017 (28.37°C), mientras que los valores promedio mínimos ocurrieron en diciembre-febrero, con el promedio mínimo en enero de 2016 (19.75°C).



Figura 102. Temperatura intersticial con temporalidad diaria (línea azul) y promedio mensual (línea roja discontinua) en la laguna Huizache (2015-2018: parcela 27).

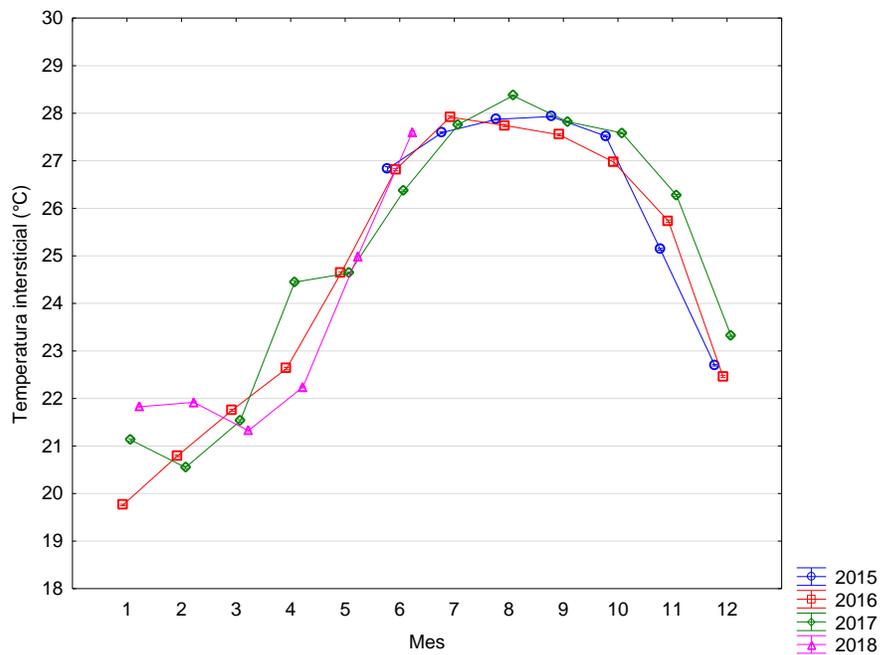


Figura 103. Comparación interanual de la temperatura intersticial (°C) en la parcela ID 27 en Huizache. Junio de 2015-septiembre de 2017.

En el caso del nivel de agua (Figura 104), se registraron pulsos que pueden exceder los 0.6 m de nivel de inundación, *e.g.* en julio de 2015 se registró el valor máximo de 0.61 m. En agosto y septiembre de 2017 se observó el mayor valor promedio (0.2 m).



Figura 104. Nivel de agua (m) en la laguna Huizache.

En la laguna Caimanero se instalaron data loggers en la parcela ID 28, donde en el caso de la salinidad intersticial (Figuras 105,106) en general los valores promedio fueron superiores a 10 ppm. Durante el verano de 2015 se observaron los mayores valores promedio de salinidad, mientras que en 2017 en general los promedios fueron menores al resto de los años analizados. Para todos los casos, en julio y agosto se registraron los promedios más altos de salinidad.

Jul Sep Nov Ene Mar May Jul Sep Nov Ene Mar May Jul Sep



Figura 105. Salinidad intersticial con temporalidad diaria (línea verde) y promedio del valor promedio mensual (línea roja discontinua) en la laguna Caimanero (parcela ID 28).

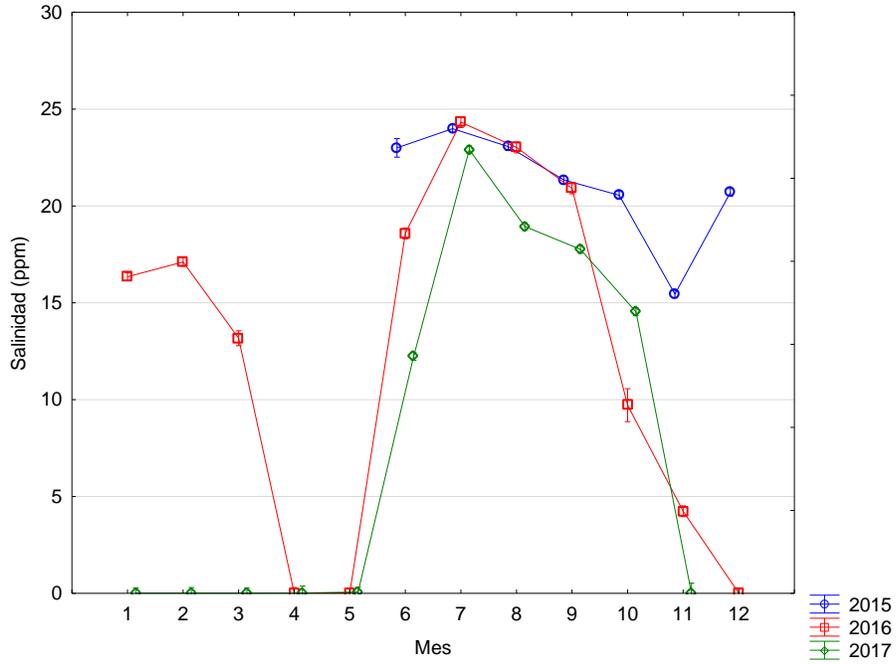


Figura 106. Comparación interanual de la salinidad intersticial (ppm) en la parcela ID 28 en Caimanero.

En el caso de la temperatura intersticial en la parcela ID 28 en Caimanero, se registraron valores máximos en octubre de 2015 (Figura 107).

Jul Sep Nov Ene Mar May Jul Sep Nov Ene Mar May Jul Sep



Figura 107. Temperatura intersticial con temporalidad diaria (línea azul) y promedio mensual (línea roja discontinua) en la laguna Caimanero (2015-2016: parcela 28).

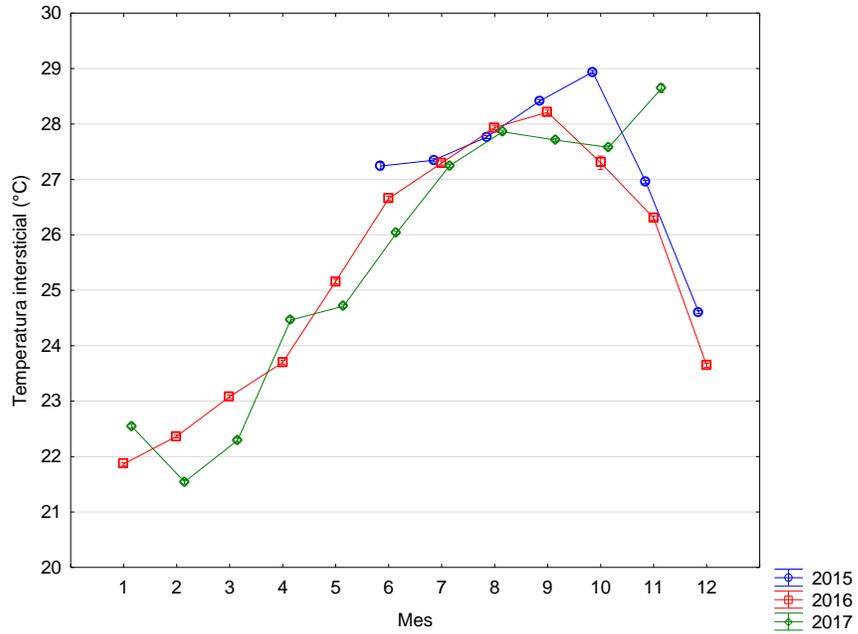


Figura 108. Comparación interanual de la temperatura intersticial (°C) en la parcela ID 28 en Caimanero.

En el caso del nivel de agua (Figura 109), los valores máximos fueron observados en agosto y septiembre de 2017 (máximo: ~0.4 m) y agosto de 2016 (máximo: ~0.6 m).

Jul Sep Nov Ene Mar May Jul Sep Nov Ene Mar May Jul Sep

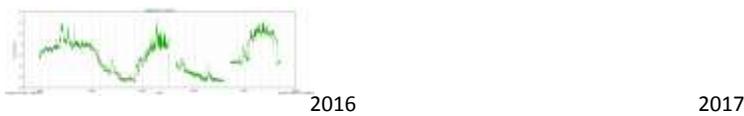


Figura 109. Nivel de agua (m) en la laguna Caimanero.

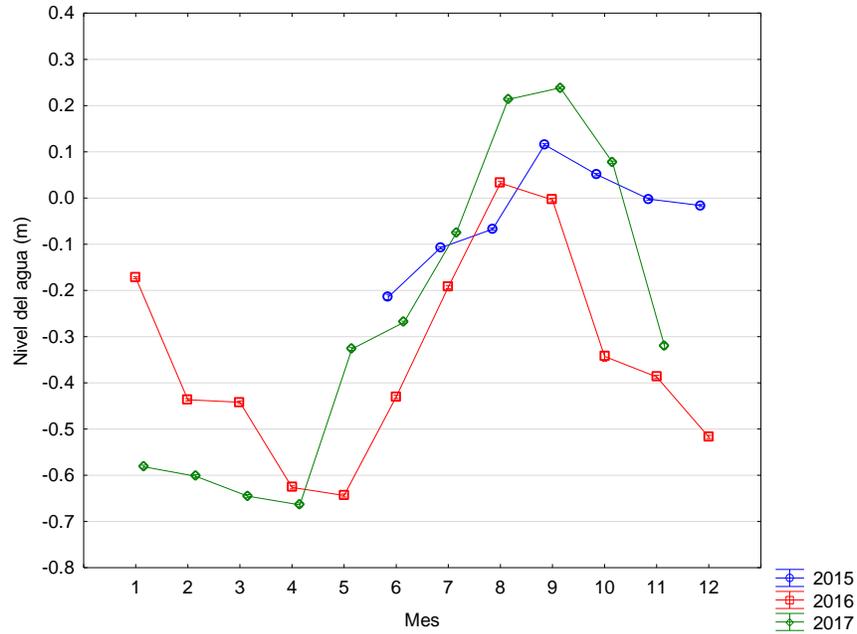


Figura 110. Comparación interanual del nivel de agua (m) en la parcela ID 28 en Caimanero. Junio de 2015-septiembre de 2017.

OCEANOGRAFÍA SATELITAL

Respecto a la información satelital, se construyeron series de tiempo para áreas correspondientes a la plataforma continental adyacente a cada sistema lagunar. En el caso de la clorofila *a*, se observó una tendencia positiva para el periodo de 2004 a 2012 (Figura 111), con anomalías positivas máximas en los periodos de 2000-2001 y 2011-2012 (Figura 112).

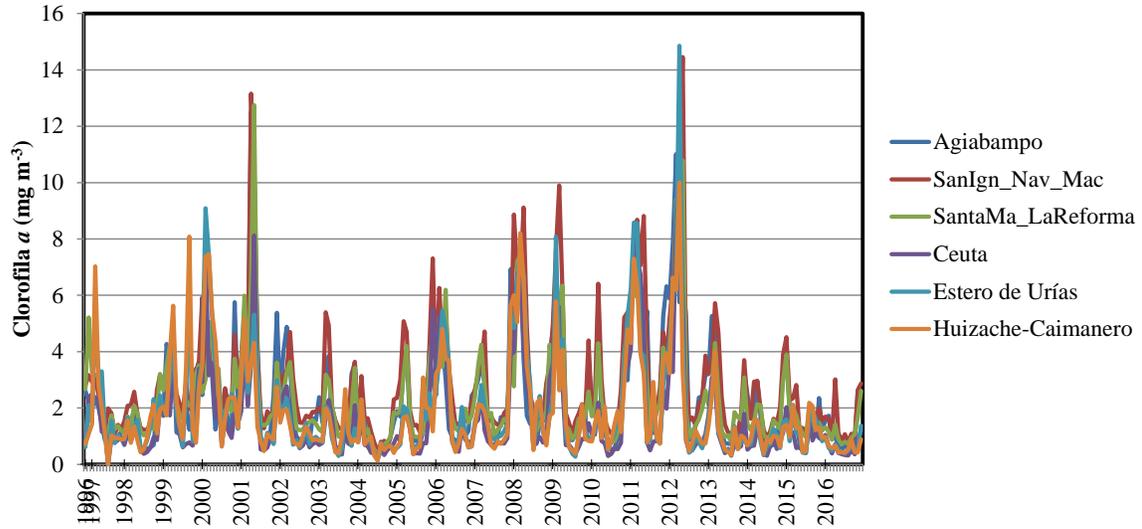


Figura 111. Series de tiempo de clorofila a (mg m^{-3}) para la zona costera adyacente a cada sistema lagunar (1996-2016).

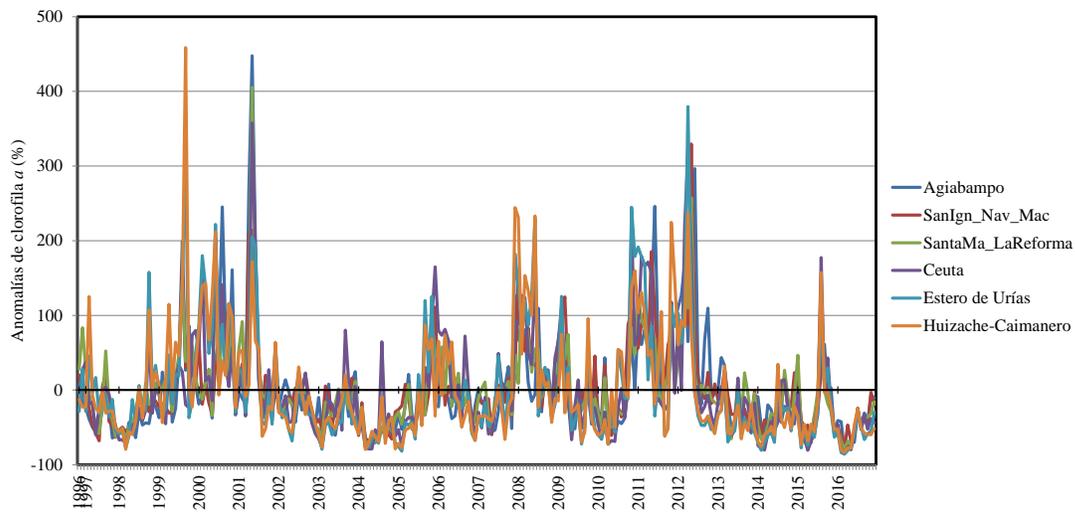


Figura 112. Anomalías porcentuales de clorofila a para la zona costera adyacente a cada sistema lagunar (1996-2016).

En el caso de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$), la mayor amplitud en las series se registró en Agiabampo y San Ignacio-Navachiste-Macapule (Figura 113), mientras que en el caso de las anomalías los mayores valores positivos se observaron hacia finales de 2009 y 2015 (Figura 114).

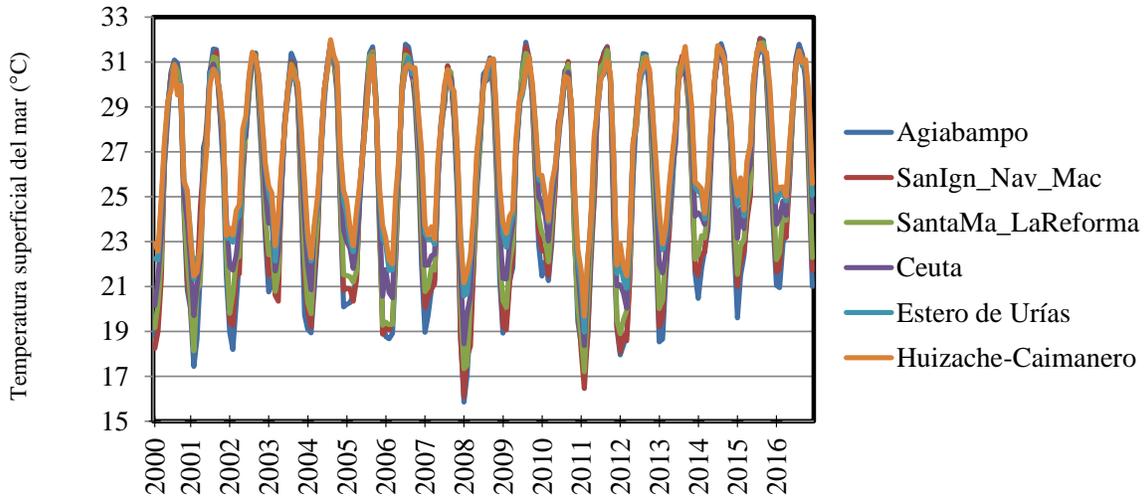


Figura 113. Serie de tiempo de temperatura superficial del mar (°C) correspondiente a la zona costera adyacente a cada sistema lagunar.

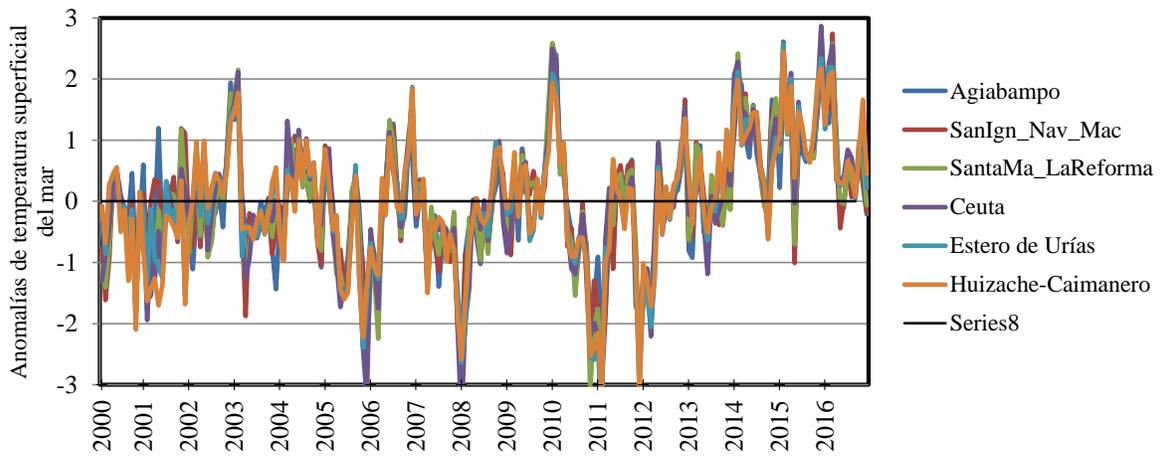


Figura 114. Anomalías de temperatura superficial del mar correspondiente a la zona costera adyacente a cada sistema lagunar.

HURACANES Y TORMENTAS TROPICALES

Los manglares funcionan como una barrera de protección natural contra los huracanes, sin embargo, son especies vulnerables a estos eventos, particularmente son sometidos a estrés por disturbios previos, tanto de origen natural como asociado a las actividades humanas, que en su conjunto pueden ocasionar incluso mortalidad. Por su ubicación en el margen este del Golfo de California, el Estado de Sinaloa es vulnerable a la influencia de los huracanes y tormentas tropicales, aunque la ocurrencia de éstos es mayor en la región de la península de Baja California. Se analizó la trayectoria de los huracanes que han tenido un impacto en Sinaloa en el periodo de 1949-2013, observando que las lagunas costeras más sensibles a estos fenómenos son Ceuta y Huizache-Caimanero (Figura 115).

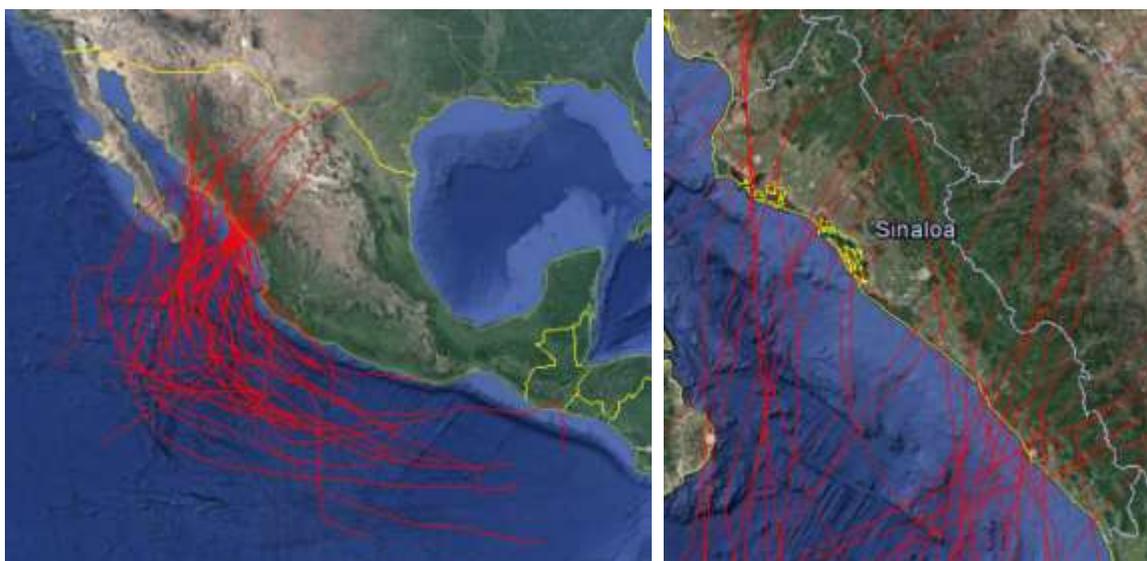


Figura 115. Trayectoria de tormentas tropicales y huracanes en Sinaloa.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Se incorporaron a las bitácoras datos derivados de nueve estaciones climatológicas localizadas en Sinaloa. La Figura 116 muestra el comportamiento de la temperatura ambiente promedio.

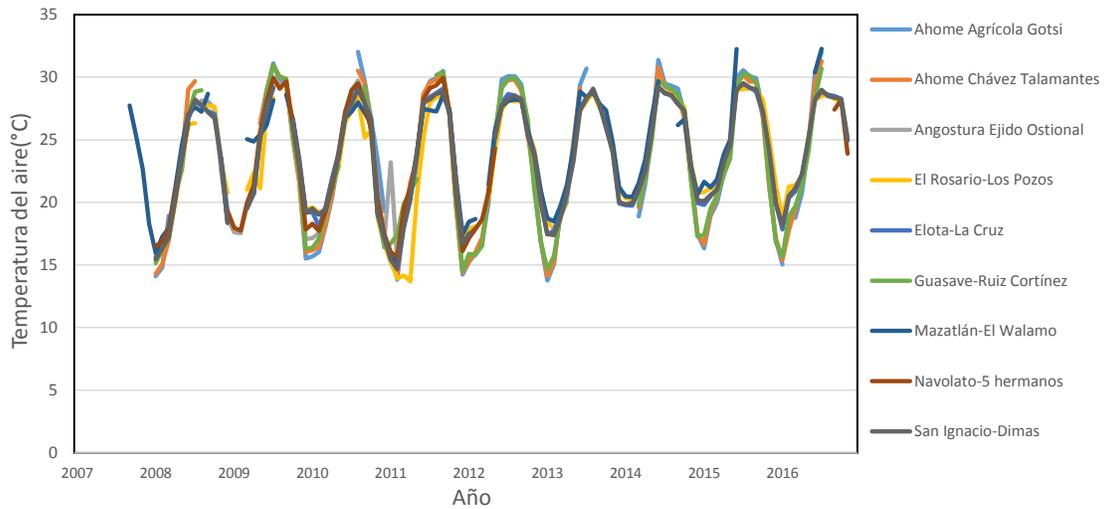


Figura 116. Temperatura del aire en estaciones climáticas localizadas en Sinaloa.

La variación estacional de la temperatura mostró patrones muy parecidos entre las nueve estaciones climatológicas de Sinaloa, en donde la temperatura en invierno es de $\sim 15^{\circ}\text{C}$ en promedio, mientras que los valores más altos ocurren en verano con un valor promedio de 30°C . La temperatura máxima se registró en Ahome Agrícola Gotsi (al norte de Sinaloa), con un valor de 36.32°C en agosto de 2016 y la menor temperatura que se registró en la misma estación con un valor de 13.96° en enero del año 2013. En el invierno 2013-2014 se registró el invierno más cálido, con una temperatura de 20°C .

ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Con referencia a los resultados de fertilidad y composición del sedimento se observaron diferencias entre los sitios seleccionados en cada ecosistema, así como entre éstos, lo que sugiere procesos ambientales particulares entre los sitios y entre sistemas. En Navachiste-Macapule-San Ignacio (NA-MA-SI) y en La Reforma-Altamura-Isla Talchichitle (RE-AL-IT) se observó la mayor proporción de materia orgánica (9 a 13% y 8 a 11%, respectivamente), aunque en algunos sitios de estos ecosistemas se obtuvieron valores bajos (< 4%, Figura 117a). Mientras que en Agiabampo (AG) y Ceuta (CE), la materia orgánica se encontró en un intervalo de 3 a 6%. La salinidad intersticial del sedimento varió también entre sitios y ecosistemas, en AG fue de 42 a 46 ppm, mientras que intervalos relativamente más altos se observaron que en NA-MA-SI (38 a 50 ppm) y RE-AL-IT (33 a 50 ppm). Los valores (43 ppm) en CE son similares a los observados en AG (Figura 117b). No se observaron diferencias significativas en el pH del sedimento obtenido de los diferentes sitios de los ecosistemas muestreados (Figura 117c).

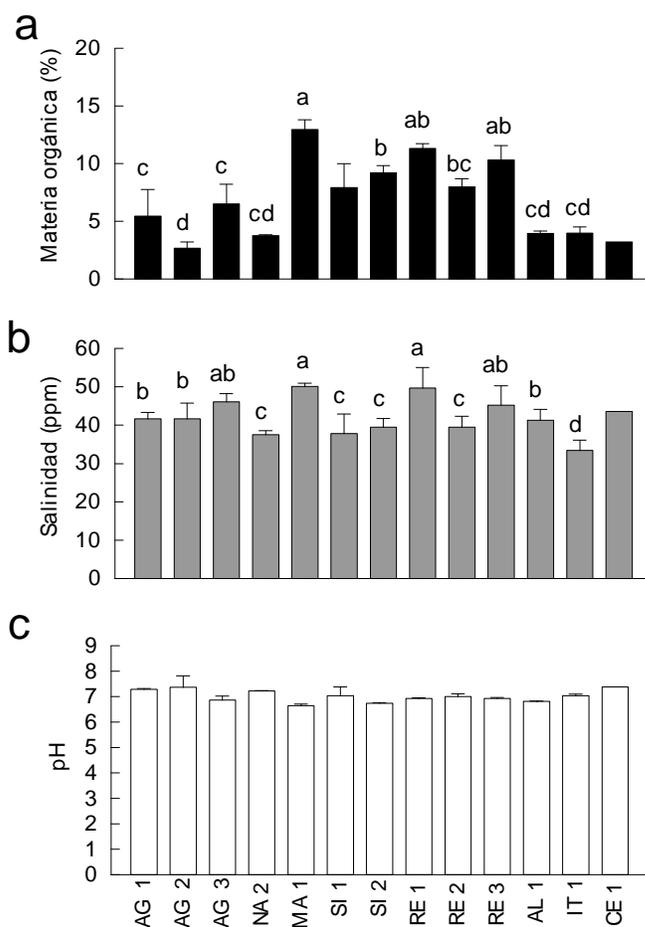


Figura 117. a) Materia orgánica (MO, %), b) salinidad (ppm) y c) pH del sedimento obtenidos en diversos sitios de Agiabampo (AG, sitios 1,2,3), Navachiste (NA, sitio 1), Macapule (MA, sitio 1), San Ignacio (SI, sitios 1,2), La Reforma (RE,

sitios 1,2,3), Altamura (AL, sitio 1), Isla Talchichitle (IT, sitio 1) y Ceuta (CE, sitio 1). Los datos son media \pm error estándar y fueron analizados con un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial, utilizando como variable independiente el sitio de muestreo. Se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey para establecer las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias. Los valores de porcentajes fueron transformados a la raíz cuadrada del arcoseno antes del ANOVA (Zar, 1999). La cantidad de muestras ($n = 1$) obtenidas en CE no permitió incluir este sitio en el análisis estadístico.

La cantidad de nitratos en sedimento fue menor que la de fosfatos, en un relación de 1 a 10 (N:P). La cantidad de nitratos fue > 6 ppm en la mayoría de los sitios, excepto en AL y RE (Figura 118a). La mayor cantidad (57 ppm) de fosfatos se observó en NA, mientras que en el resto de los sitios los valores fueron menores (9 a 23 ppm, Figura 118b). La cantidad de azufre también fue diferente entre los sitios, encontrándose valores más altos (751 a 1900 y 730 a 2,500 ppm) en NA-MA-SI y RE, mientras que en AG y CE fueron menores (873 a 1,650 ppm, Fig. 118c).

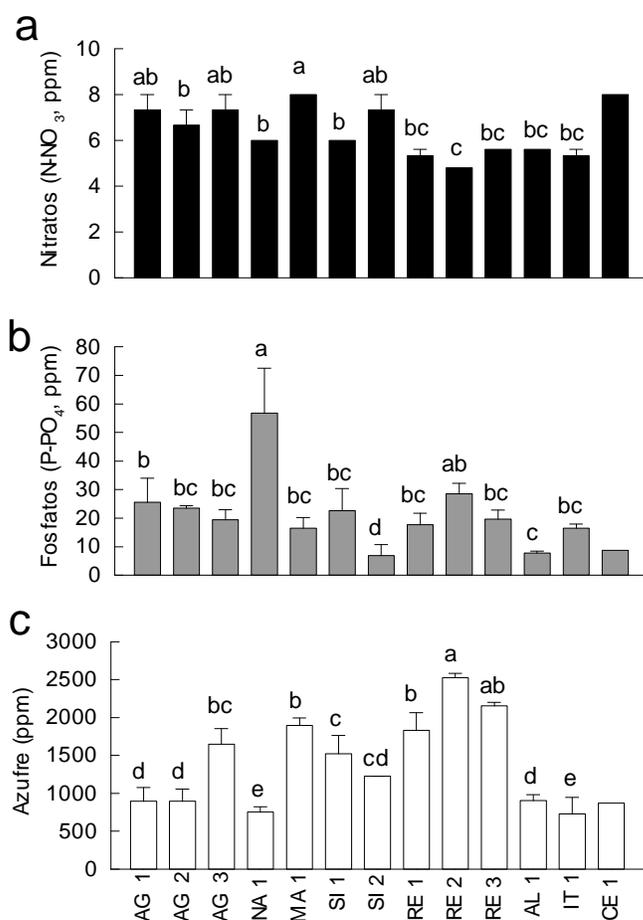


Figura 118. a) Nitratos (N-NO₃, ppm), b) fosfatos (P-PO₄, ppm) y c) azufre (ppm) del sedimento obtenido en diversos sitios de Agiabampo (AG, sitios 1,2,3),

Navachiste (NA, sitio 1), Macapule (MA, sitio 1), San Ignacio (SI, sitios 1,2), La Reforma (RE, sitios 1,2,3), Altamura (AL, sitio 1), Isla Talchichitle (IT, sitio 1) y Ceuta (CE, sitio 1). Los datos muestran la media \pm error estándar.

Con relación a los micro elementos en el sedimento, se observó una mayor cantidad de sodio, magnesio, calcio y potasio, mientras que en menor cantidad se obtuvo hierro, cobre, zinc y manganeso (Figura 119a y 119b). La mayor cantidad fue de sodio, los valores entre los sitios fueron estables y se encontró en un intervalo de 8 a 10 \times 1000 ppm. El calcio fue mayor en NA1 y RE2 (5 a 7 \times 1000 ppm), mientras que menor en el resto de los sitios (0.6 a 3.7 \times 1000 ppm). El magnesio y el potasio se encontraron en el sedimento en menor cantidad que los anteriores, en intervalos de 0.9 a 3.0 y 0.5 a 1.7 \times 1000 ppm.

La cantidad de hierro en SI2, AL1 y CE1 fue significativamente mayor (139, 145 y 73 ppm, respectivamente), mientras que en resto de los sitios se mantuvo con valores más bajos en un intervalo de 13 a 53 ppm (Figura 119b). Se observaron diferencias entre sitios en la cantidad de Zn y Mg, no así con Cu. El Zn fue mayor en los ecosistemas de NA-MA-SI (1.5 a 2.8 ppm) y RE-AL-IT (1.6 a 2.3 ppm), mientras que valores más se obtuvieron en lo sedimentos de AG y CE (0.3 a 0.9 ppm).

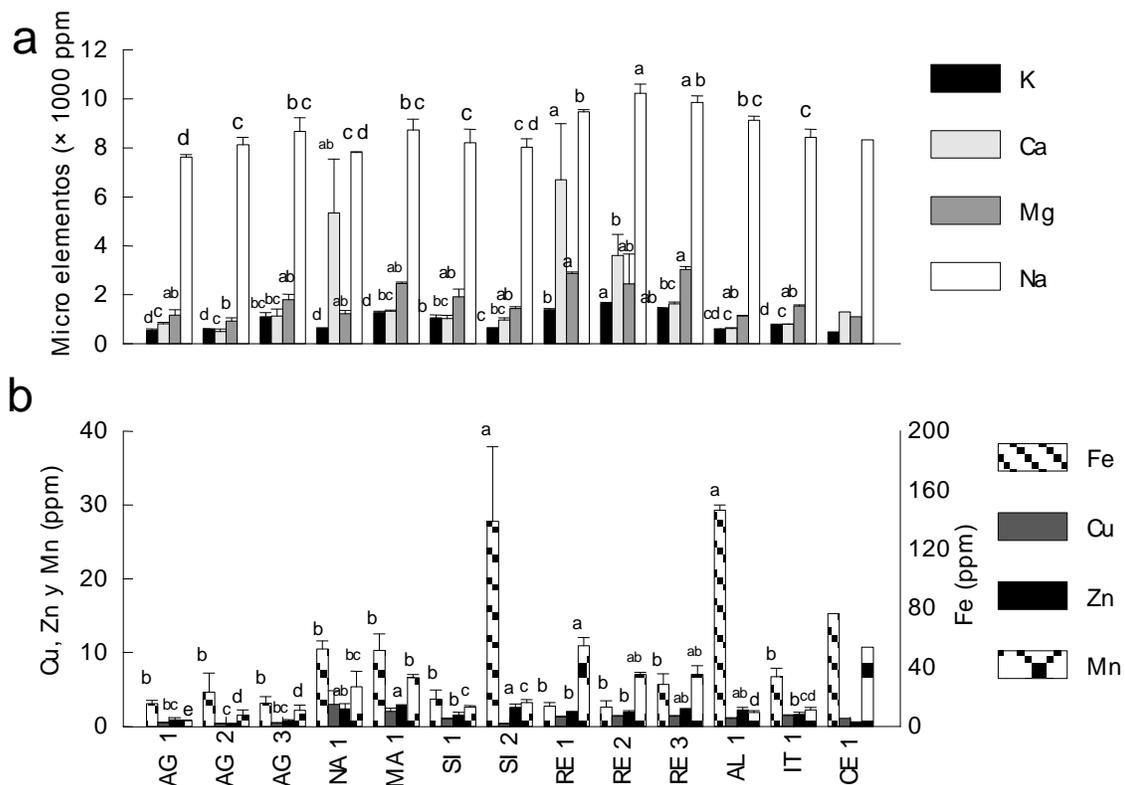


Figura 119. Cantidad de microelementos a) Potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) (\times 1000 ppm) y b) hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) (ppm) del sedimento obtenido en diversos sitios de Agiabampo (AG,

sitios 1,2,3), Navachiste (NA, sitio 1), Macapule (MA, sitio 1), San Ignacio (SI, sitios 1,2), La Reforma (RE, sitios 1,2,3), Altamura (AL, sitio 1), Isla Talchichitle (IT, sitio 1) y Ceuta (CE, sitio 1). Los datos son media \pm error estándar.

Con relación a la proporción de saturación de bases del sedimento se observaron diferencias significativas en su composición entre los sitios de muestreo y lagunas. El sodio (Na) fue el que se encontró en mayor proporción, en comparación con el potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg, Figura 120a). La mayor proporción de sodio se obtuvo en los sitios AG1, AG2 y AL1 (69, 75 y 74%), mientras que los menores en RE1 y RE2 (42 y 46%). Los segundos más abundantes fueron el Mg y Ca. El primero se encontró en mayor proporción en RE2 y RE3 (31%), y en menor en AG1 y AG2 (16 a 19%). Por su parte el Ca fue mayor en NA1 y RE1 (33 y 31%), mientras en el resto de los sitios se observaron valores más bajos en un intervalo de 5 a 19%. El K fue el que se observó en menor proporción de todos, con valores más altos en MA1 y RE3 (5%) y menores en AG1, NA1 y AL1 (2.5 a 3%).

La textura del sedimento varió en relación a los sitios de muestreo (Figura 120b). La mayor proporción de arena se obtuvo en las muestras de AG1, AG2, NA1, SI2, AL1 y CE1 (77 a 90%), mientras que valores menores (25 a 48%) se observaron en el resto de los sitios. La mayor proporción de limo se obtuvo en las muestras de MA1, RE1 y RE2 (42 a 54%), mientras que en el resto se obtuvieron menores valores (5 a 34%). La proporción de arcilla se observó en un intervalo de 4 a 33%, encontrándose los valores más altos en AG3, SII, RE1, RE2, RE3 e IT.

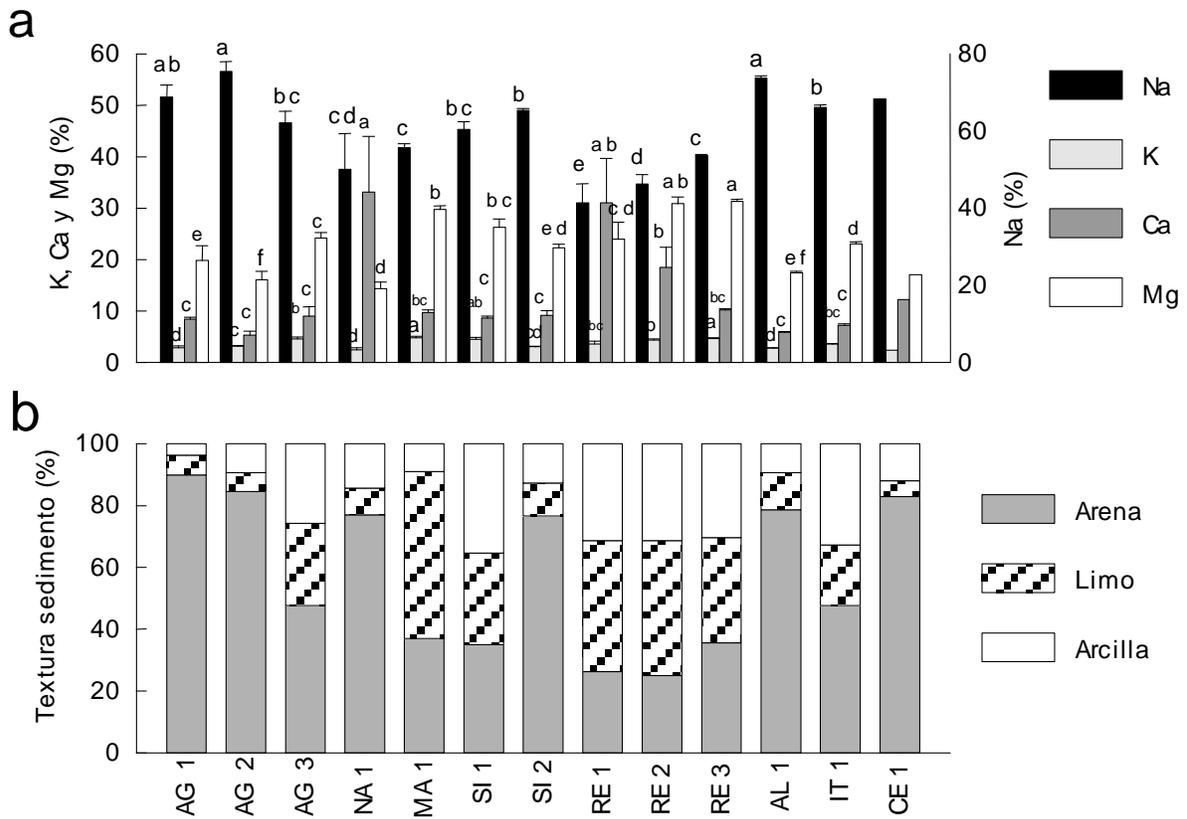
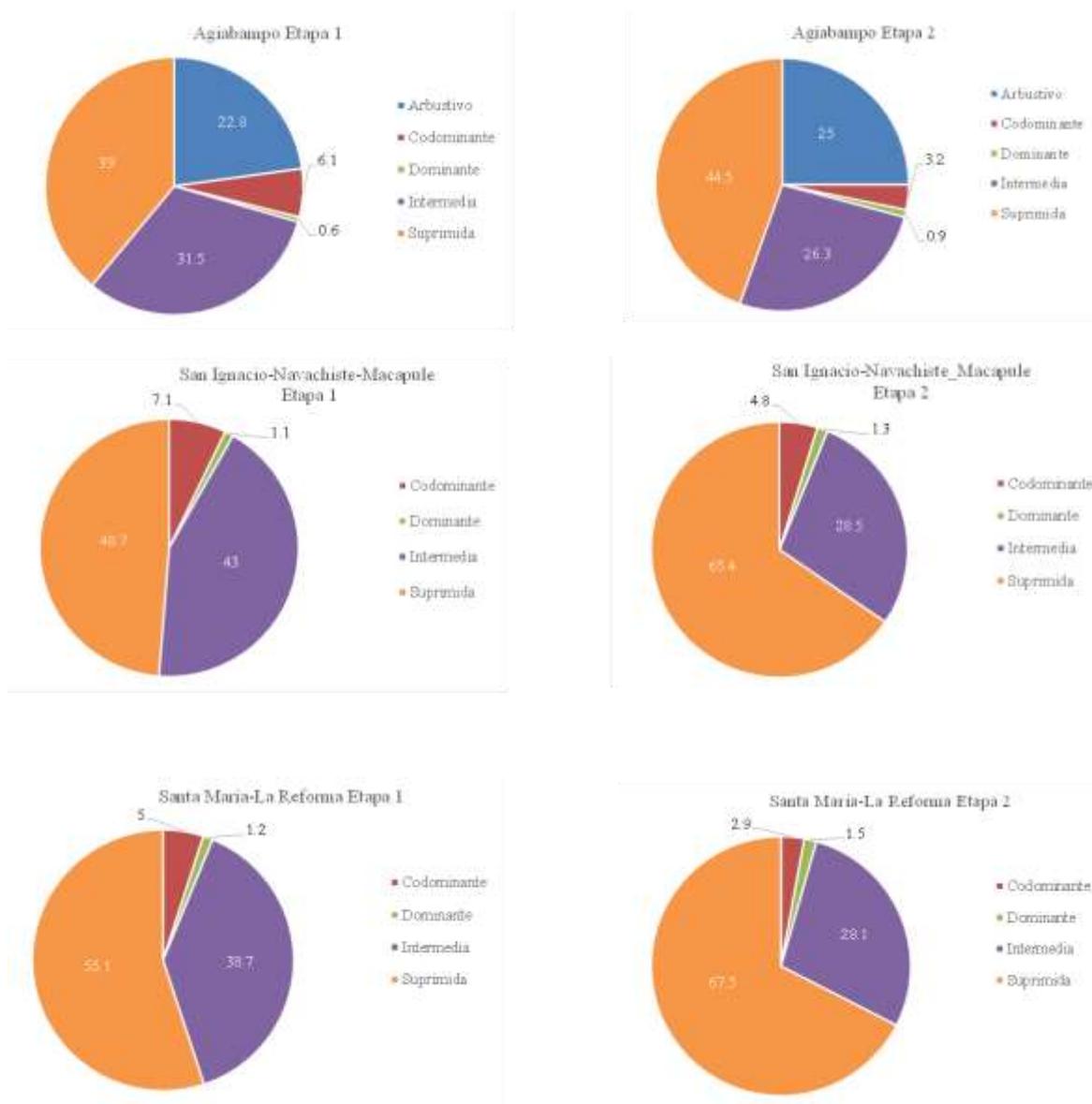


Figura 120. a) Saturación (%) de bases de Sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) y b) textura (%) del sedimento obtenido en diversos sitios de Agiabampo (AG, sitios 1,2,3), Navachiste (NA, sitio 1), Macapule (MA, sitio 1), San Ignacio (SI, sitios 1,2), La Reforma (RE, sitios 1,2,3), Altamura (AL, sitio 1), Isla Talchichitle (IT, sitio 1) y Ceuta (CE, sitio 1). Los datos son media \pm error estándar.

Clase de corona en los seis sistemas lagunares

La Figura 121 muestra el porcentaje de cada tipo de corona o copa en las seis lagunas durante las dos etapas de muestreo. En general, las coronas predominantes fueron las de tipo suprimida e intermedia.



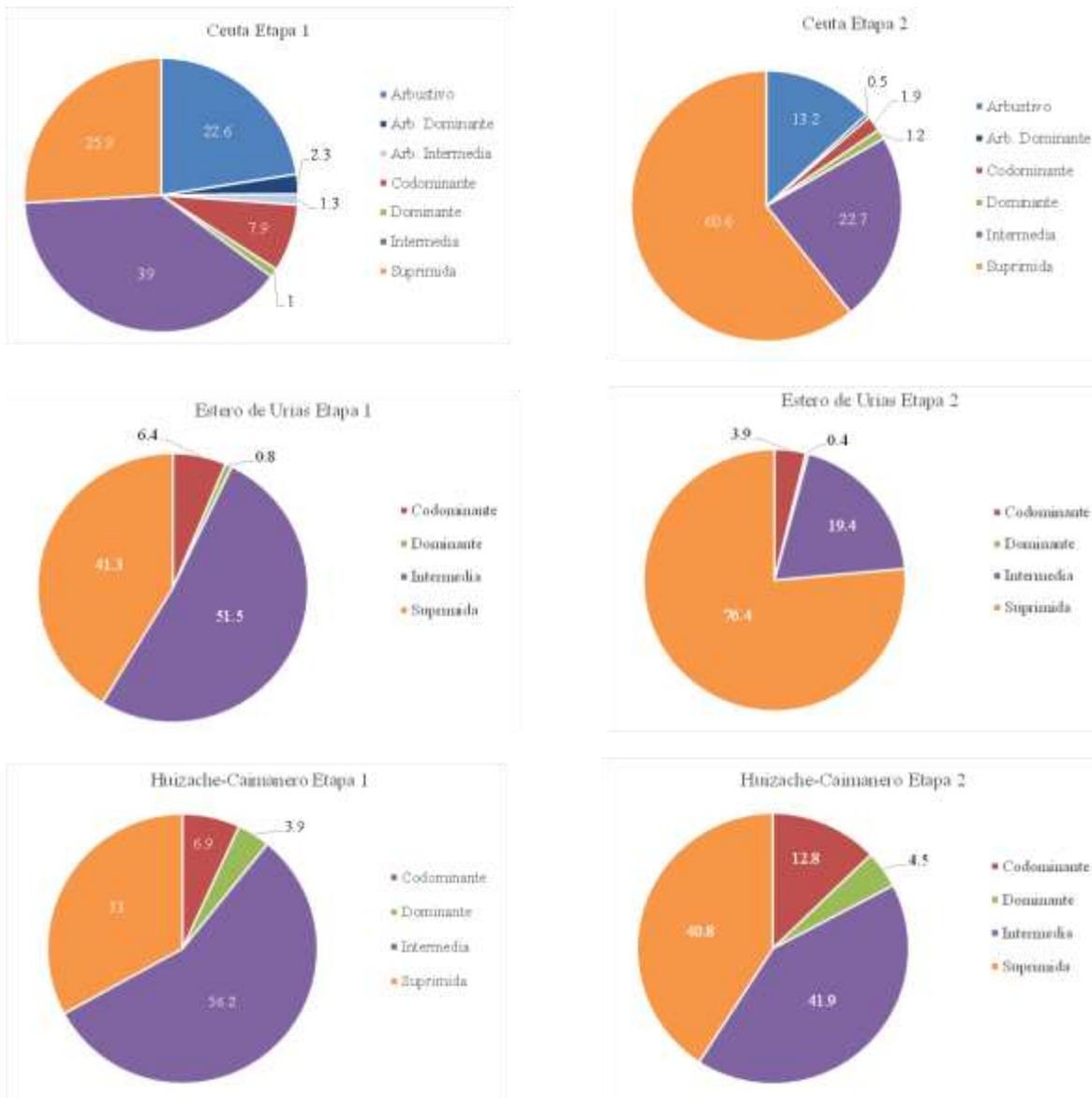


Figura 121. Porcentaje por clase de corona o copa para cada sistema lagunar.

PRODUCCIÓN DE HOJARASCA

Uno de los atributos más característicos de los manglares es su elevada productividad, la cual se deriva de sus principales componentes (propágulos, flor, ramas y hojas), mismos que aportan nutrientes al ecosistema y cuerpo de agua. En esta investigación, se observó una tendencia latitudinal durante las dos etapas de estudio, incrementándose de norte a sur, donde la mayor producción promedio se registró en las parcelas ID 26-30, que pertenecen al sistema lagunar Huizache-Caimanero. El valor más bajo observado fue en el sitio Ceuta_1 (ID 16) en el año 2017, seguido de las parcelas en Agiabampo (ID 1-3) durante el último año de estudio (2018) (Figura 122).

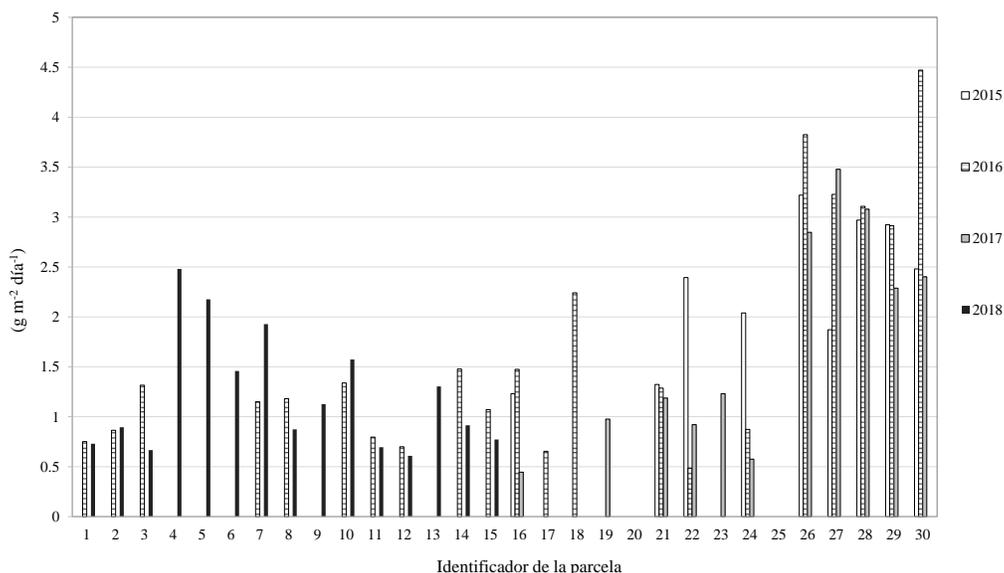


Figura 122. Producción promedio de hojarasca ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) en las 30 parcelas analizadas en los seis sistemas lagunares.

MORTALIDAD

Se analizó la mortalidad en las treinta parcelas de 20 x 20 m durante las dos etapas de muestreo (etapa 1: n=3,458 individuos; etapa 2: n=3,636 individuos). Durante la primera etapa, los sitios con mayor incidencia de mortalidad fueron Altamura (ID 14), Ceuta_3 (ID 18), Urías_3 (ID 23) y Botadero_2 (ID 27); en la segunda etapa, los sitios donde se observó mayor índice de mortalidad fueron Agiabampo_1 (ID 1), Ceuta_5 (ID 20), Urías_5 (ID 25) y Botadero_2 (ID 27), observándose un incremento latitudinal del norte al sur de Sinaloa. El sitio que reportó mayor número de individuos muertos en ambas etapas, fue Botadero_2 con 36 y 59 individuos, respectivamente (Figura 123).

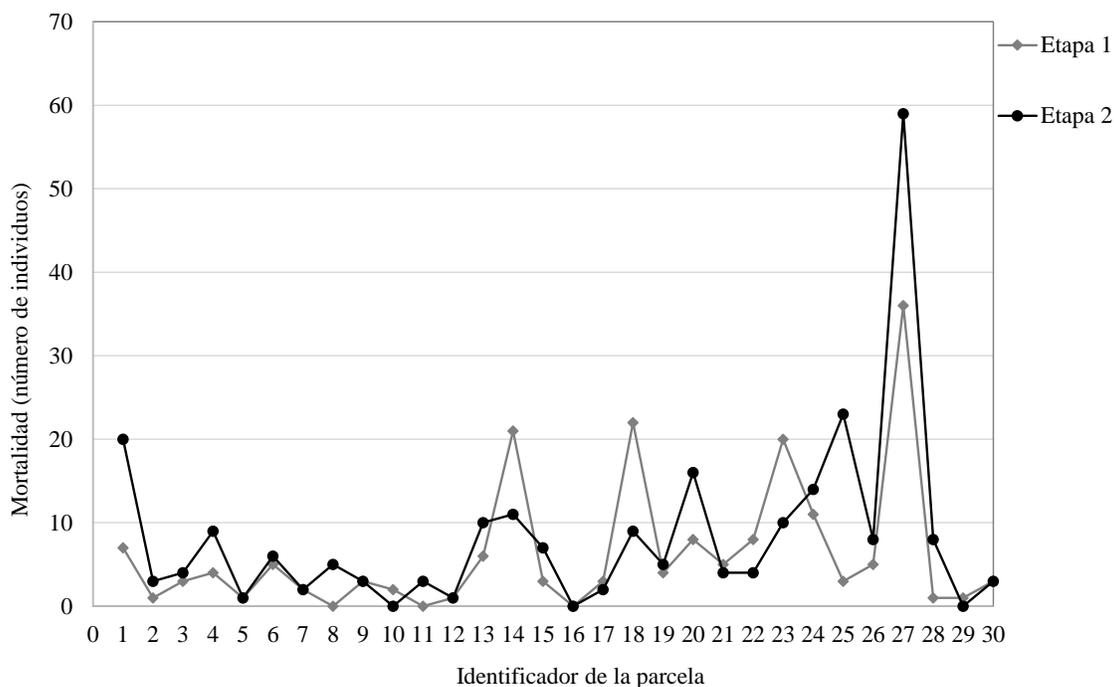


Figura 123. Mortalidad de los manglares en seis sistemas lagunares de Sinaloa durante dos temporadas de estudio (2015-2016, 2017-2018).

De un total de 439 individuos muertos en las dos etapas, el 99% fue identificado a nivel especie. *L. racemosa* mostró mayor incidencia de mortalidad en la etapa 1, principalmente en las parcelas del sur, en tanto que *A. germinans* mostró un incremento durante la segunda etapa de muestreo, registrando mortalidad para esta especie en 23 de las 30 parcelas (Figura 124). La abundancia de *R. mangle* fue muy baja, registrándose sólo un individuo muerto durante la etapa 1 en el sitio Ceuta_3 (ID 18).

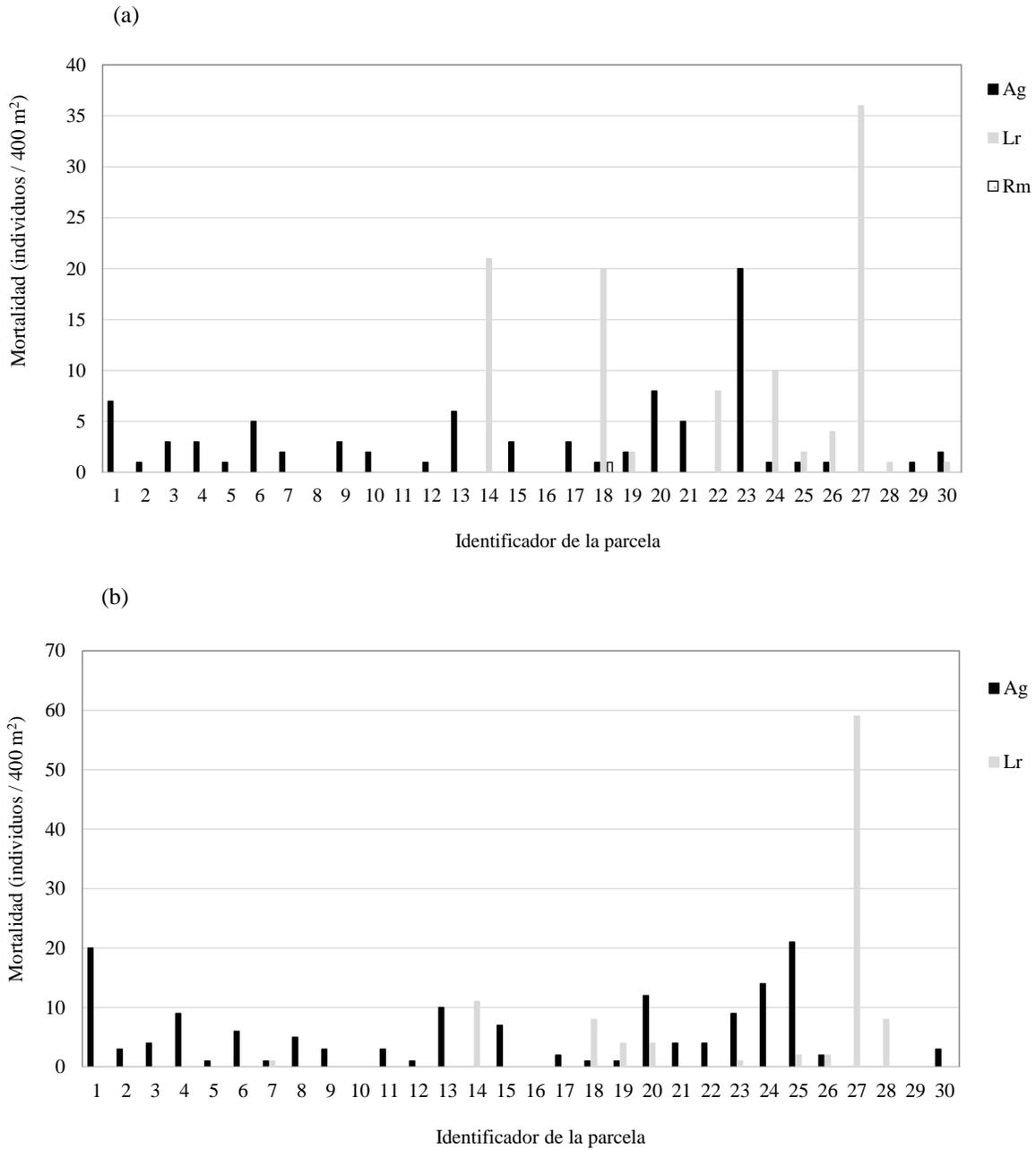


Figura 124. Mortalidad de los manglares para *A. germinans* (Ag), *L. racemosa* (Lr) y *R. mangle* (Rm) durante las dos etapas de estudio, donde (a) corresponde a la etapa 1 y (b) corresponde a la etapa 2.

En este estudio, los registros de mortalidad se clasificaron en dos grupos: natural y por tala. La proporción de esta última fue mucho menor, ocurriendo 41 individuos muertos por tala durante la primera etapa, y 33 durante la segunda. La mayor incidencia se observó en la parcela Botadero_2 (ID 27), con 23 y 17 individuos, respectivamente (Figura 125), siendo en su totalidad de la especie *L. racemosa*.

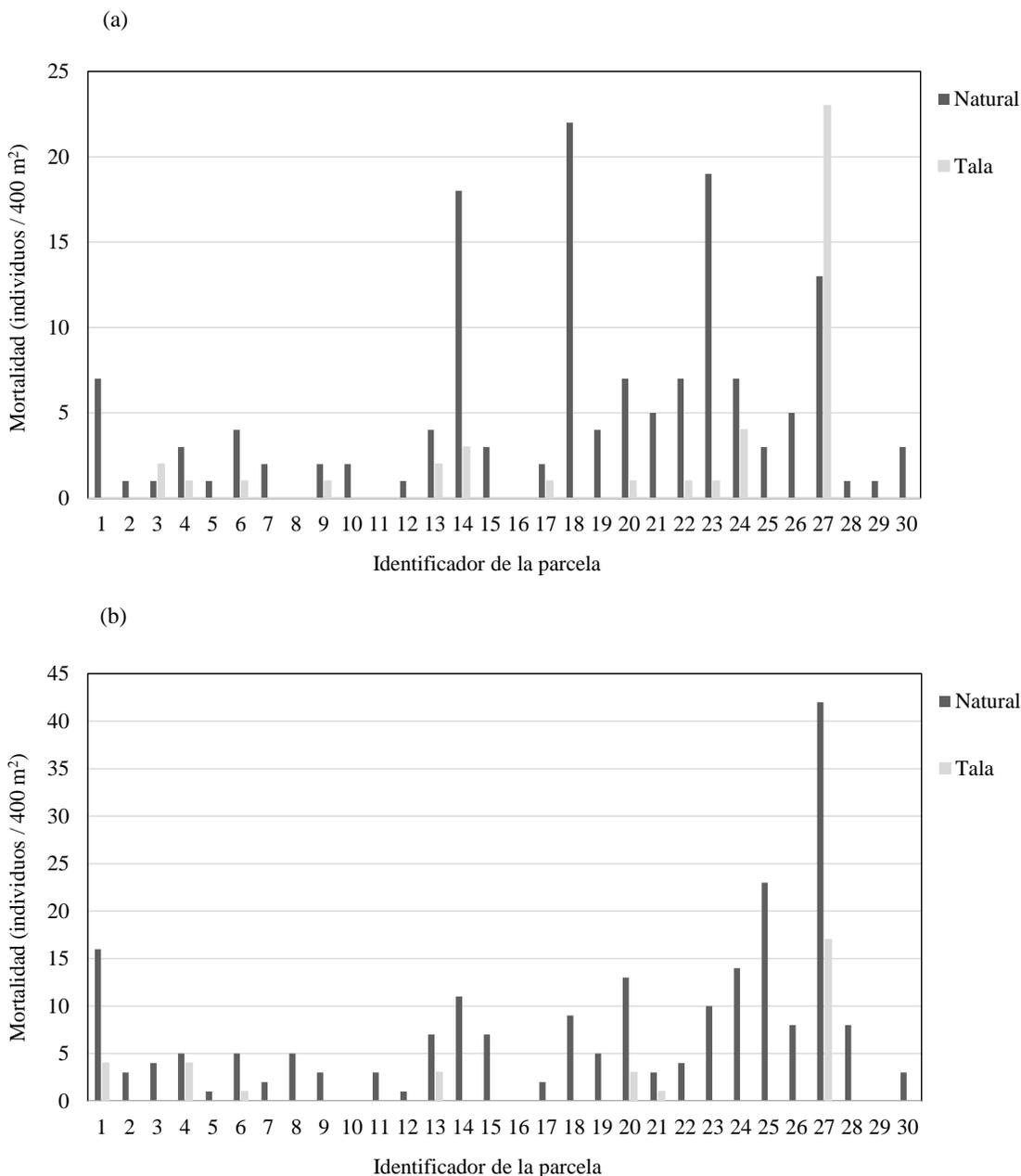


Figura 125. Mortalidad de los manglares asociados a causas naturales o por tala, donde (a) corresponde a la etapa 1 y (b) corresponde a los individuos registrados en la etapa 2.

Las causas de mortalidad en los bosques de manglar pueden atribuirse tanto a causas naturales (*e.g.* huracanes) como antropogénicas (*e.g.* eutrofización por descargas, tala). Estas mismas causas son las atribuidas a la pérdida de cobertura de manglar en el mundo, como la expansión de la acuicultura, deforestación por agricultura, cambios de uso de suelo, desarrollo urbano y turístico, entre otras. El incremento latitudinal de la mortalidad, de norte a sur, puede estar relacionado al aumento de las actividades humanas, siendo más evidentes en los sistemas del Estero de Urías (desarrollo urbano e industrial) y Huizache-Caimanero (actividades acuícolas y pesqueras). En el norte, los valores más altos de mortalidad registrados en los sistemas de Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule y Santa María-La Reforma, fueron localizados cerca de las bocas, donde la vulnerabilidad de los manglares podría relacionarse con la influencia de la hidrodinámica del océano adyacente. Por ejemplo, en el caso del Canal de Cuautla, en Marismas Nacionales, Nayarit, la apertura del canal que lleva su nombre tenía un ancho de ~50 m superando actualmente los 800 m (estimación a partir de Google Earth, imagen 2016), lo que ha ocasionado por ejemplo cambios importantes en la salinidad al existir una mayor influencia de agua salada, y por lo tanto, mortandad de los manglares (Ochoa *et al.*, 2012).

Otros agentes estresores de estos humedales, son los eventos atmosféricos como El Niño (ENSO) por las fluctuaciones de temperatura (cálidas/frías) y humedad (inundación, sequía). Durante 2015-2016, ocurrió un evento ENSO, siendo considerado el más intenso en la actualidad; sin embargo, con los resultados en este trabajo no fue posible concluir que la mortalidad haya sido originada por este evento.

En el caso de los sitios Ceuta_3 (ID 18) y Urías_3 (ID 23), el número elevado de individuos muertos -principalmente durante la primera etapa- podría estar relacionado a la ubicación de estas parcelas, ambas cerca de granjas acuícolas. Aunque en muchos de los casos estas instalaciones no se desarrollan en los manglares sino en zonas contiguas, los efluentes que provienen de ellas podrían causar contaminación en los ecosistemas de manglar, hipersalinidad y eutrofización, que puede derivar en estrés y posterior mortalidad (Lovelock *et al.*, 2009). Finalmente, cabe destacar la mortalidad elevada de individuos en el sitio Botadero_2 (ID 27), un gran porcentaje de ellos por tala. La especie más vulnerable fue el mangle blanco (*L. racemosa*) que es muy utilizada por los residentes para la construcción de palapas, por lo que la tala tiende a aumentar durante periodos vacacionales.

Aunque el porcentaje de individuos muertos con respecto del total de individuos registrados en las 30 parcelas durante las dos etapas fue bajo (5.18 y 6.43%, para la primera y segunda, respectivamente), estos resultados son un indicador de la vulnerabilidad de estos ecosistemas, particularmente cuando estos índices están relacionados a causas antropogénicas, por lo que es necesario se garantice la protección de los mismos de acuerdo a la legislación vigente (NOM-ECOL-059-2010).

DENSIDAD DE PLÁNTULAS

Con el objetivo de determinar el repoblamiento de las tres especies de manglar en las parcelas analizadas, se calculó para cada una la densidad de plántulas (número de individuos·ha⁻¹) durante las dos etapas de estudio (Figura 126). Durante la primera etapa los valores fueron bajos en la mayoría de las parcelas, observándose un reclutamiento nulo en las parcelas ID 18-20 que pertenecen al sistema lagunar Ceuta, para ambas temporadas. Los promedios más altos fueron observados durante la segunda etapa, lo cual indica en general un repoblamiento efectivo aunque no en todas las parcelas. Los sitios donde se observó un mayor reclutamiento fueron las parcelas Agiabampo_4 (ID 4), La Reforma_2 (ID 12), Urías_2 (ID 22) y Caimanero_3 (ID 28). La parcela ID 12 registró un aumento notorio, con un promedio de 30,500 individuos · ha⁻¹ (mayo de 2015) a 90,000 individuos· ha⁻¹ (febrero de 2018).

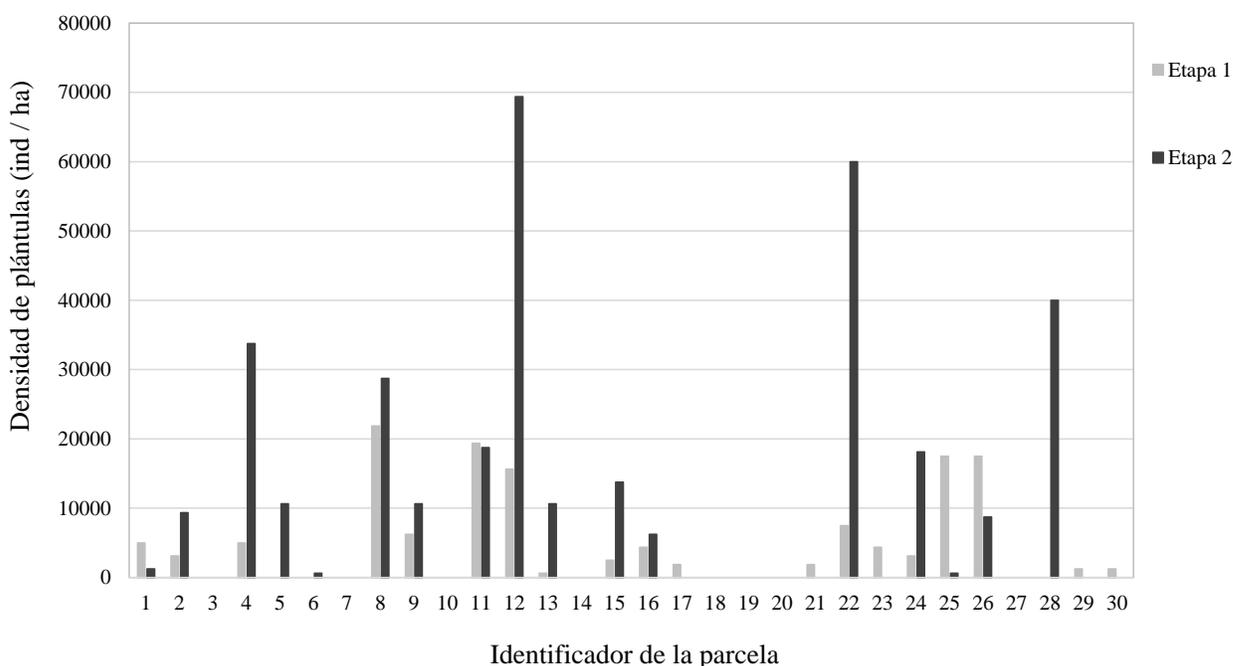


Figura 126. Densidad de plántulas (individuos·ha⁻¹) para cada una de las parcelas analizadas durante las etapas 1 y 2.

En general, en todos los sistemas lagunares se pudo observar un aumento en el repoblamiento de una temporada a otra, siendo más destacado en Santa María-La Reforma (parcela ID 12), seguido del Estero de Urías (parcela ID 22; Figura 127).

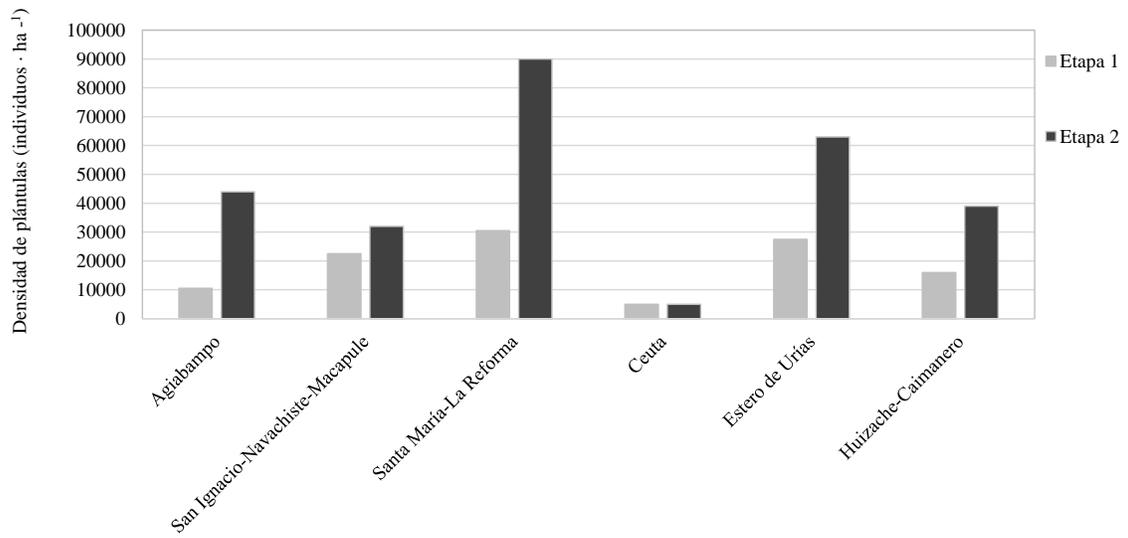


Figura 127. Repoblamiento observado en las seis lagunas costeras analizadas durante las etapas 1 y 2.

CONCLUSIONES

Se evaluó en su totalidad 30 parcelas distribuidas en seis lagunas costeras de Sinaloa, Agiabampo, San Ignacio-Navachiste-Macapule, Santa María-La Reforma, Ceuta, Estero de Urías y Huizache-Caimanero, durante dos etapas (2015-2016; 2017-2018).

Se determinaron los principales atributos estructurales, destacando en general un gradiente latitudinal en el DAP₁₃₀ y la altura promedio, incrementando de norte a sur, así como entre la primera y segunda etapa de muestreos.

Las parcelas que mostraron valores de densidad más altos (individuos ·ha⁻¹) se localizaron en las lagunas de San Ignacio-Navachiste-Macapule, Estero de Urías y Huizache-Caimanero, observándose una menor densidad en Santa María-La Reforma y Ceuta.

Los data loggers proporcionaron información referente a las condiciones intersticiales en Agiabampo, Ceuta, Estero de Urías y Huizache-Caimanero, destacando que con excepción de Huizache-Caimanero, el año más cálido ocurrió en 2016. En el caso del nivel del agua, en promedio fue menor en 2016 en todos los casos. En general, predominó una menor salinidad en 2016 – 2017, con valores promedio mayores en 2015. En el caso de la información satelital, el periodo de muestreos en las seis lagunas costeras se caracterizó por una dominancia de anomalías positivas en la temperatura y una baja productividad biológica (proxy Chl-a), condiciones que se originan desde finales de 2012.

En general, las coronas predominantes fueron las de tipo suprimida e intermedia, mientras que en el caso de la hojarasca, se observó un gradiente latitudinal, incrementando la producción de norte a sur, principalmente en Huizache-Caimanero.

Con referencia a la mortalidad, se observó un gradiente latitudinal, incrementando de norte a sur, donde los mayores registros ocurrieron en la laguna Huizache (parcela ID 27), generalmente correspondiendo a *L. racemosa* en este caso y a *A. germinans* en el resto. Mientras que en las regiones norte-centro de Sinaloa la causa aparente de mortalidad se asoció principalmente a causas naturales, en el sur y particularmente en Huizache-Caimanero a la tala.

En el caso del repoblamiento, los valores de densidad promedio de plántulas fueron en general menores en la primera etapa con respecto a la segunda, siendo para éste caso mayores los valores estimados para parcelas localizadas en Agiabampo (ID 4), La Reforma (ID 12), Estero de Urías (ID 22) y Caimanero (ID 28). El menor repoblamiento observado en la primera etapa podría estar asociado a la predominancia de condiciones menos óptimas para el establecimiento y supervivencia de las plántulas, *i.e.* mayor temperatura y salinidad, además de una menor humedad en el suelo.

Se sugiere el uso de tecnologías como los drones y cámaras de 360° para apoyar los estudios de estructura de los manglares, dadas las ventajas sinópticas *in situ*, así como de referencia *a posteriori*.

LITERATURA CITADA

- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray, E. Sala. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *PNAS* 105(30):10456–10459.
- Acosta-Velázquez, J., A.D. Vázquez-Lule. 2009. Caracterización del sitio de manglar Bahía Magdalena, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO. (2009). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.
- Agraz-Hernández, C.M., C. García-Zaragoza, S. Iriarte-Vivar, F.J. Flores-Verdugo, P. Moreno-Casasola. 2011. Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of Mexico. *Wetlands Ecology and Management*, 19(3): 273-293.
- Agraz-Hernández, C.M., 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.
- Agraz Hernández, C.M. 1999. Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa Noroccidental de México. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 132 p.
- Alonso-Pérez, F., A. Ruiz-Luna, J. Turner, C.A. Berlanga-Robles, G. Mitchelson-Jacob. 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 46: 583-600.
- Arreola-Lizárraga, A., F.J. Flores-Verdugo, A. Ortega-Rubio. 2004. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Botany*, 79 (2): 137-143.
- Beltrán-Velarde, M.A. 2007. Metales pesados. Cd, Cu, Pb y Zn. en músculo y hepatopáncreas de peneidos de importancia comercial en siete sistemas lagunares del estado de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. 45 p.
- Beman, J.M., K.R. Arrigo, P.A. Matson. 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature*, 434: 211-214.
- Cardoso-Mohedano, J.G., R. Bernardello, J.A. Sánchez-Cabeza, A.C. Ruiz-Fernández, R. Alonso-Rodríguez, A. Cruzado. 2015. Thermal impact from the thermoelectric power plant on a tropical coastal lagoon. *Water, Air & Soil Pollution*, 225-2202. doi.org/10.1007/s11270-014-2202-8

- Cintron, G.M., Y. Schaeffer-Novelli. 1984. Methods for studying mangrove structure. In: The mangrove Ecosystem: research methods. Monographs on Oceanographic Methodology, 8: 91-113.
- CONAGUA. 2017. Anuario Estadístico y Geográfico por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México: INEGI, c2017, 1066 p.
- CONAGUA. 2016. Anuario Estadístico y Geográfico por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México: INEGI, c2016, 738 p. ISBN 978-607-739-993-3.
- Cottam, G., J. T. Curtis. 1949. A Method for Making Rapid Surveys of Woodlands by Means of pairs of Randomly Selected Trees. *Ecology*, 30(1): 101-104.
- Cowardin, L.M., V. Carter, F. C. Golet, E.T. LaRoe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States, U.S., Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Curtis, J., R. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32: 476-496.
- Del Río-Chuljak, A. 2003. Concentración y aporte de nutrientes en el Estero de Urías (Puerto de Mazatlán): tiempo de residencia y variabilidad estacional. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Del Valle Lucero, I. 1989. Estrategia de producción y explotación en una laguna costera de México. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 266 p.
- Drexler, J.Z., K.C. Ewel. 2001. Effect of the 1997–1998 ENSO-Related Drought on Hydrology and Salinity in a Micronesian Wetland Complex. *Estuaries*, 24 (3): 347-356.
- Faunce, C.H., J.E. Serafy. 2006. Mangroves as fish habitat: 50 years of field studies. *Marine Ecology Progress Series*, 318: 1-18.
- Félix-Pico, E.E., O.E. Holguín-Quiñones, A. Hernández-Herrera, F. Flores-Verdugo. 2006. Mangrove primary production at El Conchalito Estuary in La Paz Bay (Baja California Sur, Mexico). *Ciencias Marinas*, 32: 53-63.
- Ferrando, A., N. Méndez. 2011. Checklist of soft-bottom polychaetes (Annelida: Polychaeta) of the coastal lagoon Estero de Urías (Sinaloa, México). *Marine Biodiversity Records*, 3(e91): 1-6. doi: 10.1017/S1755267210000710

- Flores-Cárdenas, F. 2011. Vulnerabilidad del sistema lagunar Santa María-La Reforma (Sinaloa) asociada a las dimensiones humanas y variabilidad climática: un análisis retrospectivo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa. 79 p.
- Flores-Verdugo, F., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz-Hernández, H. López-Rosas, D. Benítez-Pardo, 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, Vol. Sup. Núm. 80. 33-47 pp.
- Flores-Verdugo, F.J., J.W. Day, R. Briseño-Dueñas. 1987. Structure, litterfall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. Marine Ecology Progress Series, 35: 83-90.
- García, E. 1989. Modificaciones al sistema de clasificación climatológica de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. U.N.A.M. Instituto de Geografía. México, D.F. 249 p.
- Gattuso, J.P., M. Frankignoulle, R. Wollast. 1998. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. Annual Review of Ecological and Systematics, 29: 405-434.
- Gilbert, R.O. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Wiley, NY. United States. ISBN 0-442-23050-8
- González-Acosta, A.F., G. De La Cruz-Agüero, J. De La Cruz-Agüero, G. Ruiz-Campos. 2001. Unusual occurrence of *Gnathanodon speciosus* (Teleostei: Carangidae) in a mangrove swamp hábitat of Baja California Sur, México. Oceánides, 16(2): 143-144.
- Holguin, G., P. González-Zamorano, L.E. De-Bashan, R. Mendoza, E. Amador, Y. Bashan. 2006. Mangrove health in an arid environment encroached by urban development, a case study. Science of the Total Environment, 363: 260-274.
- Jaward, F.M., H. A. Alegria, J.G. Galindo Reyes, A. Hoare. 2012. Levels of PAHs in the waters, sediments, and shrimps of Estero de Urias, an estuary in Mexico, and their toxicological effects. The Scientific World Journal, 1-9 pp.
- Kovacs, J.M., J. Wang, M. Blanco-Correa. 2001. Mapping Disturbances in a Mangrove Forest Using Multi-Date Landsat TM Imagery. Environmental Management, 27 (5): 763-776.
- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. 182-215. En: Wiley, M. Ed. Estuarine processes. Academic Press, Inc. London.

- López-Portillo, J.A., A.L. Lara-Domínguez, M.C. Martínez-García, M. Hernández-Sánchez, M. Rodríguez-Rivera, C. Ureña-Aranda, R.I. Galán-Breth, V.M. Vásquez, 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.
- López-Portillo, J., E. Ezcurra. 1985. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, 27-51.
- Lovelock, C.E., M.C. Ball, K.C. Martin, I.C. Feller. 2009. Nutrient Enrichment Increase Mortality of Mangroves. *PLoS ONE*, 4(5): e5600. Doi: 10.1371/journal.pone.0005600
- Lugo, A.E. S.C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecological and Systematics*, 5:39-64.
- Manzano-Sarabia, M., Olivia Millán-Aguilar, Francisco Flores-Cárdenas, Lidia Rodríguez-Arredondo, Mayra I. Grano-Maldonado, Mario Nieves-Soto. 2018. Ed. Christopher Makowski and Charles W. Finkl. Current Status of Mangrove Wetlands in Sinaloa: A Biological Corridor along the Eastern Margin of the Gulf of California, México. Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability, and Management. Vol. 25. Springer. 724 p. ISBN: 978-3-319-73015-8. DOI 10.1007/978-3-319-73016-5.
- Manzano-Sarabia, M., E.A. Aragón-Noriega, C.A. Salinas-Zavala, D.B. Lluch-Cota. 2007. Distribution and abundance of penaeid shrimps in a hypersaline lagoon in northwestern Mexico, emphasizing the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* life cycle. *Marine Biology*, 152: 1021-1029. DOI 10.1007/s00227-007-0763-4.
- Manzano-Sarabia, M. 2003. Distribución y abundancia del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* en el Sistema Lagunar de Agiabampo, Sonora-Sinaloa, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. 94 p.
- Millán-Aguilar, O. 2016. Evaluación de cinco sistemas de manglar en Sinaloa a través de técnicas de percepción remota y genética poblacional. Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar. Tesis de Doctorado. Septiembre, 2016.
- Ochoa, C.F., E.M. Baldwin, R.S. Casarín, G.R. Martínez. 2012. Hydro-morphologic Revision of the Cautla Channel at Nayarit, Mexico. *Clean - Soil, Air, Water*, 40, 920-925, doi:10.1002/clen.201100680.

- Páez-Osuna, F., C.C. Osuna-Martínez. 2015. Bioavailability of Cadmium, Copper, Mercury, Lead, and Zinc in Subtropical Coastal Lagoons from the Southeast Gulf of California Using Mangrove Oysters (*Crassostrea corteziensis* and *Crassostrea palmula*). *Environmental Contamination and Toxicology*, 68(2): 305-316.
- Pérez-Ceballos, R., S. Echeverría-Ávila, A. Saldívar-Jiménez, T. Saldívar-Jiménez, J. Herrera-Silveira. 2017. Contribution of microtopography and hydroperiod to the natural regeneration of *Avicennia germinans* in a restored mangrove forest. *Ciencias Marinas*, 43(1): 55-67, ISSN:0185-3880
- Pérez-Verdugo, F. 2007. Determinación de variables físicas, químicas y nutrientes. Nitratos y Fosfatos en el Estero de Urías y en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis para obtener el grado de Biólogo Acuacultor. Universidad Autónoma de Sinaloa, 55 p.
- Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary: physical viewpoint. 3-5. En: Lauff, G.H. Ed. *Estuaries. Conference on Estuaries Papers Jekyll Island.*, Washington: Am. Assoc. Adv. Sci.
- Raygoza-Viera, J.R., A.C. Ruiz-Fernández, J. Ruelas-Insunza, C. Alonso-Hernández, L.H. Pérez-Bernal, F. Páez-Osuna. 2014. Accumulation and distribution of Hg and ²¹⁰Pb in superficial sediments from a coastal lagoon in the SE Gulf of California associated with urban-industrial and port activities. *Environmental Earth Sciences*, 72(8): 2729-2739. Doi: 10.1007/s12665-014-3178-9
- Roden, G.I. 1964. Geological of the Gulf of California. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Van Andel, Tj. y G.G. Shor American Association of Petroleum Geologists. Mem. 30-583.
- Ruiz-Fernández, A.C., M. Frignani, C. Hilaire-Marcel, B. Ghaleb, M.D. Arvizu, J.R. Raygoza-Viera, F. Páez-Osuna. 2009. Trace metals (Cd, Cu, Hg and Pb) accumulation recorded in the intertidal mudflat sediments of three coastal lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Estuaries and Coasts*, 32(3): 551-564. Doi:10.1007/s12237-009-9150-3
- Saenger, P. 2002. *Mangrove ecology, silviculture and conservation*. Kluwer academic publishers. 360 p.
- Sánchez-Bon, G., G. Fernández, D. Escobedo-Urías, J. Torres-Torner, J.A. Cid-Becerra. 2010. Composición espacial y temporal de la avifauna de las islas de barrera del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, México. *Ciencias Marinas* 36(4): 355-370.
- Sánchez, O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, L. Zambrano (Ed). 2007. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. SEMARNAT-INE. 297 p.

- Schomaker, M.E., S.J. Zarnoch, W.A. Bechtold, D.J. Latelle, W.G. Burkman, S.M Cox. 2007. Crown-condition classification: A guide to data collection and analysis. USDA. Forest Service. Asheville, USA
- Strangmann, A., Y Bashan, L. Giani. 2008. Methane in pristine and impaired mangrove soils and its possible effect on establishment of mangrove seedlings. *Biology and Fertility of Soils*, 44: 511-519.
- Toledo, G., A. Rojas, Y. Bashan. 2001. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 444: 101-109.
- Tovilla-Hernández, C., D.M. Infante-Mata, F. Ovalle-Estrada, J.C. De-La-Presa, J.R. García-Alfaro, G. De-La-Cruz. 2013. Inventario del manglar y avances de la intrusión salina. Tapachula, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- UNESCO. 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales. Informe sobre el estado de conocimiento. UNESCO/PNUMA/FAO. Madrid, 771 p.
- Valdez-Hernández, J.I. 2002. Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. *Madera y Bosques*, 1: 129-145.
- Vasavilbazo-Saucedo, A., C. Covantes-Rodríguez. 2012. Construcción social de insostenibilidad en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. 140 p. ISBN: 9786079230470
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Ed. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River. 3th, New Jersey.

ANEXO I

Sistema de clasificación de humedales (Cowardin et al., 1979, En: Sánchez et al., 2007).

Sistema palustre: este tipo de humedales se caracterizan por no recibir influencia de las mareas, aunque sí por las aguas subterráneas, precipitación o desbordamiento de cauces de ríos.

Sistema lacustre: Humedales situados en una depresión topográfica, cuya vegetación arbórea, arbustiva o de emergentes perennes no cubra más del 30% del área, y que tenga superficie total mayor a 8 ha.

Sistema fluvial: ambiente contenido dentro de un canal más o menos profundo, con dos condiciones: la salinidad no debe exceder 0.5 ppm y no incluye humedales dominados por árboles, arbustos o emergentes perennes.

Sistema marino: océano abierto sobre la plataforma continental.

Sistema estuarino: Ambiente mareal, profundos o someros, con acceso al mar de manera esporádica o parcialmente obstruido, y que recibe ocasionalmente escurrimientos de agua dulce.

Tipos fisonómicos

Ribereño: Se localiza en los bordes de la desembocadura de los ríos y canales deltáicos. Suele ser el más desarrollado estructuralmente y de mayor productividad primaria por encontrarse en condiciones ambientales óptimas. Los valores reportados para este tipo de bosque indican un área basal de $41.3 \pm 8.8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, una densidad de $1730 \text{ arb ha}^{-1} \pm 350$ y una altura de $17.7 \pm 3.7 \text{ m}$ (Agráz-Hernández et al., 2006).

Borde o franja: se encuentra en la orilla de las lagunas costeras, estuarios y bahías. En este tipo fisonómico, se puede observar la zonación clásica de *R. mangle* y/o *L. racemosa*, *A. germinans* y *C. erectus*, si existe pendiente topográfica e influencia de mareas. Los valores reportados para este tipo de bosque indican un área basal de $17.9 \pm 2.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, una densidad de $5930 \pm 3005 \text{ arb ha}^{-1}$ y una altura de $8.2 \pm 1.1 \text{ m}$ (Agráz-Hernández et al., 2006).

Cuenca: ocurren en depresiones topográficas con poco flujo y reflujos de agua. Las aguas de inundación tienden a acumularse en la depresión y raramente sufren un intercambio durante el ciclo de las mareas. Se encuentran detrás de los ribereños y de borde.

Arbustivos o Enanos: se desarrollan en sitios caracterizados por presentar diversas limitaciones para el crecimiento y desarrollo, rara vez pasan de 1,5 m. Típicamente forman una comunidad escasa y dispersas en forma de matorrales. Se localizan en ambientes con carbonatos y zonas áridas.

Tipos de coronas o copas (Schomaker et al., 2007)

Existen diferencias del tipo y tamaño de corona en zonas de árboles de la misma edad o del mismo grupo, estos tipos de corona se pueden clasificar en dominante, codominantes, intermedios y suprimidos.

Dominantes: son individuos que tienen coronas que se extienden por encima del nivel medio de la cobertura del manglar, se caracteriza por recibir luz plena por encima y por los lados, son coronas generalmente bien desarrolladas.

Codominante: individuos con coronas que conforman el principal nivel del dosel de un área en específico, de menor altura que los dominantes, reciben luz por encima regularmente. El diámetro de la corona es menor que los dominantes.

Intermedios: son árboles con coronas mucho menor que los codominantes, de menor altura, ocasionalmente reciben luz directa, pues su corona está por debajo del promedio de la altura del dosel. El crecimiento del árbol es lento.

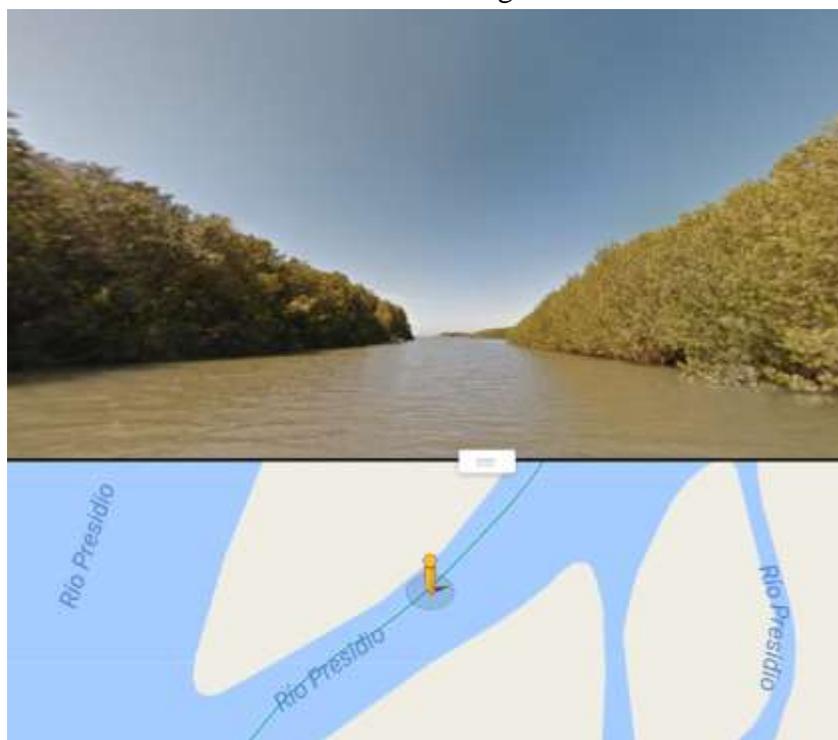
Suprimido: es la menor de todos los tipos de corona, no reciben luz directa por encima o por los lados. Los árboles en esta clasificación de corona corresponden a adultos con poco crecimiento o a individuos muy jóvenes. El crecimiento en general de estos individuos es bajo.

ANEXO 2. FOTOGRAFÍA EN 360°

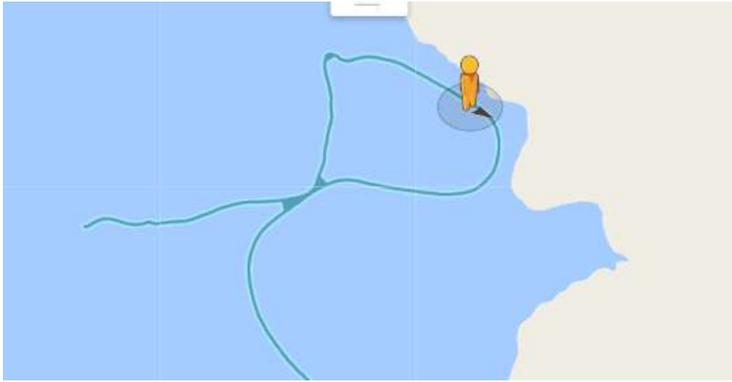
Durante 2016 se realizaron recorridos en las lagunas de San Ignacio-Navachiste-Macapule y Huizache con un equipo fotográfico especializado para mostrar imágenes en 360°. Dicha información es actualmente pública en la plataforma Street View. A continuación se muestran algunos enlaces a los recorridos mencionados.



Vista del recorrido en la laguna Huizache.



Detalle del recorrido realizado en la laguna Huizache. <https://www.google.com/maps/@23.0942997,-106.2898043,3a,90y,36.42h,65.44t/data=!3m9!1e1!3m7!1slheDVef9GWBu2-gD6hTnuA!2e0!7i13312!8i6656!9m2!1b1!2i45>

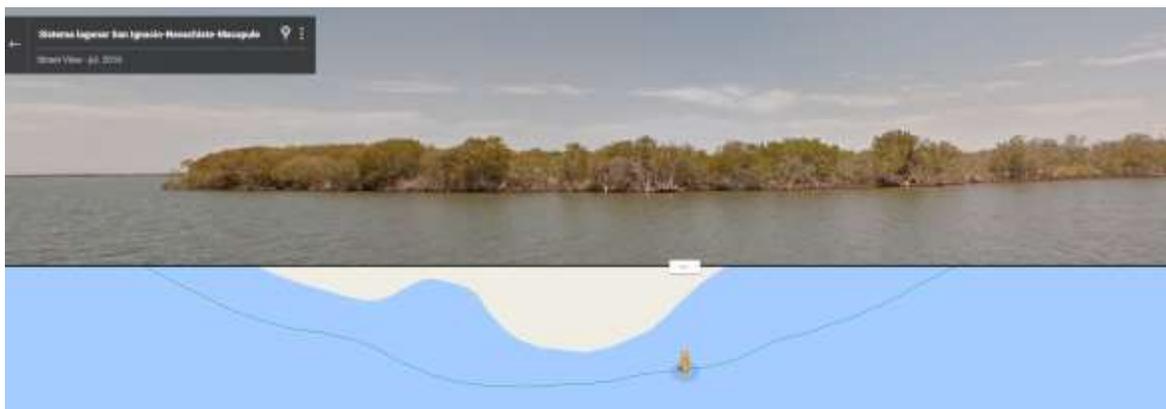
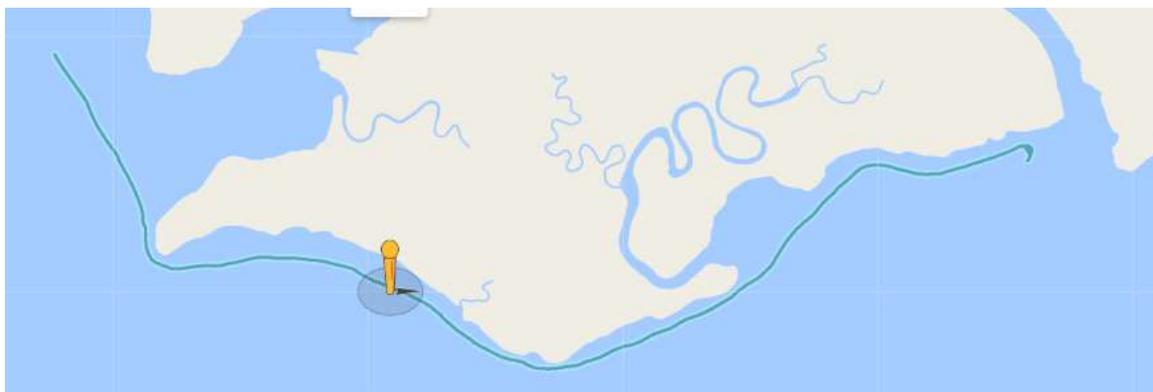


Vista de una sección del recorrido realizado en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste- Macapule. https://www.google.com/maps/@25.4763201,-108.9381199,3a,75y,133.9h,71.56t/data=!3m1!1e1!3m8!1seaCBSQ3eQduw_KsmqoJTZA!2e0!6s%2F%2Fgeo1.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DeaCBSQ3eQduw_KsmqoJTZA%26output%3Dthumbnail%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26thumb%3D2%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D27.989988%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i13312!8i6656!9m2!1b1!2i45



Detalle del recorrido en Navachiste (parcela 8)

<https://www.google.com/maps/@25.5139986,-108.9010174,3a,90y,260.34h,82.28t/data=!3m7!1e1!3m5!1si3IeKPacSstMqeuoBvb11Q!2e0!3e2!7i13312!8i6656>



Detalle del recorrido realizado en Macapule (parcela ID 10)

https://www.google.com/maps/@25.4740529,-108.9369225,3a,75y,206.88h,94.39t/data=!3m10!1e1!3m8!1sO9DAmslxuGSaOLonBE8qrA!2e0!6s%2F%2Fgeo1.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DO9DAmslxuGSaOLonBE8qrA%26output%3Dthumbnail%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26thumb%3D2%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D275.9282%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i13312!8i6656!9m2!1b1!2i45



Detalle de la zona de manglares El Verde Camacho (área no considerada en el proyecto). <https://www.google.com/maps/@23.422838,-106.5586437,3a,75y,118.14h,67.13t/data=!3m6!1e1!3m4!1sanW7gh3gYbBGJrP9XTsUQg!2e0!7i13312!8i6656>

ANEXO 3. MICROTOPOGRAFÍA

El conocimiento de su microtopografía permite determinar la distribución de los diferentes tipos de humedales, identificar las áreas potenciales para su restauración, así como la ampliación o creación de nuevas áreas para determinadas especies de manglar (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). En este proyecto, para el levantamiento de los perfiles microtopográficos de las parcelas (Tabla 33), fue utilizada una manguera de plástico convencional (de 10 m) y dos estadales de 1.50 m, cada uno fijado a cada extremo con dos cinturones de plástico. La manguera fue llenada con agua y estabilizada (se dejan al menos 50 cm sin agua para evitar la formación de burbujas). Para la medición de los transectos perpendiculares al cuerpo de agua, se colocó una regla al nivel de la superficie y la otra a 10 m de distancia. Los dos estadales son colocados en forma vertical y firmes al suelo; una vez estabilizados los niveles de agua en la manguera, se anotan los valores de los dos estadales y la diferencia entre ambos se define como el aumento o disminución del relieve, tomando como nivel el espejo del cuerpo de agua o nivel de referencia. Este procedimiento se realiza sucesivamente hasta cubrir las diferentes zonas de vegetación. En cada transecto se identificaron las especies de manglar, así como cambios estructurales dentro de cada parcela como la presencia de pequeñas dunas, tipo de suelo, o formación de cuencas.

La importancia de conocer la zonación que componen cada perfil microtopográfico, es el poder decidir qué especie de mangle se puede utilizar para reforestar o restaurar un parche, ya que ésta es un reflejo de la microtopografía y de la salinidad intersticial. Sin embargo, la dinámica de cada sistema lagunar es diferente, esto hace necesario contar con información sobre el micro relieve donde se llevaría a cabo la restauración (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). Este indicador es útil para entender la respuesta del manglar a una perturbación (Pérez-Ceballos *et al.*, 2017).

Tabla 33. Microtopografía (m) en seis sistemas lagunares de Sinaloa.

PARCELAS (especies)	Límite inferior	Límite superior	Media	Error estándar
Agiabampo_1-ID 1 (Ag, Rm).	0.05	0.39	0.27	16.6
Agiabampo_2-ID 2 (Ag)	0.11	0.55	0.38	9.1
Agiabampo_3-ID 3 (Ag, Rm)	0.92	1.03	0.97	1.8
Agiabampo_4-ID 4 (Ag)	0.06	0.4	0.23	11.0

Agiabampo_5 -ID 5 (Ag)	-0.19	0.15	0.098	12.1
San Ignacio_1-ID 6 (Ag)	0.1	0.16	0.12	2.3
San Ignacio_2-ID 7 (Ag, Lr)	-0.14	-0.24	-0.20	4.5
Navachiste_1-ID 8 (Ag, Rm)	-0.01	0.13	-0.01	11.4
Navachiste_2 -ID 9 (Ag)	-0.25	0.1	-0.29	12.1
Macapule-ID 10 (Ag, Lr)	-0.08	0.06	-0.095	4.3
La Reforma_1-ID 11 (Ag, Lr, Rm)	-0.16	-0.71	-0.45	21.5
La Reforma_2-ID 12 (Ag)	-0.05	-0.75	-0.35	38.5
La Reforma_3-ID 13 (Ag)	-0.1	-0.6	-0.35	9.4
Altamura-ID 14 (Ag)	-0.05	0.42	0.16	4.4
Isla Talchichiltle-ID 15 (Ag)	-0.07	0.22	-0.08	12.2
Ceuta_1-ID 16 (Ag)	0.4	0.43	0.42	2.0
Ceuta_2-ID 17 (Ag)	-0.05	-0.29	-0.14	3.9
Ceuta_3-ID 18 (Lr)	-0.06	-0.47	-0.18	16.5
Ceuta_4-ID 19 (Lr)	0.3	0.33	0.31	0.9
Ceuta_5-ID 20 (Ag, Lr)	-0.15	-0.18	-0.16	0.6
Urías_3-ID 23 (Rm, Ag)	0.03	0.07	0.05	1.5
Urías_4-ID 24 (Rm)	-0.09	0.16	0.057	18.0
Urías_5 -ID 25 (Ag)	-0.47	-0.52	-0.49	3.3
Botadero_1 -ID 26 (Ag)	-0.02	0.18	-0.02	22.2
Botadero_2-ID 27 (Lr)	-0.04	0.11	0.028	8.6
Caimanero_3-ID 28 (Lr)	-0.14	-0.17	-0.15	1.4
Caimanero_4-ID 29 (Ag)	0	0.02	-0.02	5.3
Caimanero_5 -ID 30 (Ag)	-0.3	-0.51	-0.37	4.6

ANEXO 4. PRODUCTOS PARCIALES Y TOTALES

PROYECTO CONABIO LM004

Artículos indizados publicados

Flores-Cárdenas, F., O. Millán-Aguilar, L. Díaz-Lara, L. Rodríguez-Arredondo, M.A. Hurtado-Oliva, M. Manzano-Sarabia. 2017. Trends in the Normalized Difference Vegetation Index for mangrove areas in northwestern Mexico. *Journal of Coastal Research*, ISSN 0749-0208.

Flores-Cárdenas, F., M.A. Hurtado-Oliva, T.W. Doyle, M. Nieves-Soto, S. Díaz-Castro, M. Manzano-Sarabia. 2016. Litterfall production of mangroves in Huizache-Caimanero lagoon system, México. *Journal of Coastal Research*. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00242.1>

Millán-Aguilar, O., M. Manzano-Sarabia, A. Nettel-Hernanz, R. S. Dodd, M. Á. Hurtado-Oliva, E. Velázquez-Velázquez. 2016. Genetic Diversity of the Black Mangrove *Avicennia germinans* (L.) Stearn in Northwestern Mexico. *Forests* 7(9), 197; doi:10.3390/f7090197.

Artículos sometidos

Millán-Aguilar, O., A. Nettel-Hernanz, M. Hurtado-Oliva, R.S. Dodd, F. Flores-Cárdenas, M. Manzano-Sarabia. Landscape metrics and conservation status of five mangrove wetlands in the eastern Gulf of California margin. Julio, 2018. *Revista: Journal of Coastal Research*.

Rodríguez-Arredondo, L. O. Millán-Aguilar, F. Flores-Cárdenas, J. López-Magaña, M. Nieves-Soto, M. Manzano-Sarabia. Sometido a la Revista *Climate* (Editorial MDPI). Número especial: Interactions between Climate Change and Other Stresses on Forest Ecosystem Structure and Function. Julio de 2018.

Capítulo de libro

Manzano-Sarabia, M., Olivia Millán-Aguilar, Francisco Flores-Cárdenas, Lidia Rodríguez-Arredondo, Mayra I. Grano-Maldonado, Mario Nieves-Soto. 2018. Ed. Christopher Makowski and Charles W. Finkl. *Current Status of Mangrove Wetlands in Sinaloa: A Biological Corridor along the Eastern Margin of the Gulf of California, México. Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability, and Management*. Vol. 25. Springer. 724 p. ISBN: 978-3-319-73015-8. DOI 10.1007/978-3-319-73016-5.

Artículo de divulgación

Millán-Aguilar, O., M. Manzano-Sarabia, M.A. Hurtado-Oliva, A. Nettel-Hernanz. 2016. Ecosistemas en transformación: del paisaje a los genes. Revista Biodiversitas, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. No. 126: 12-16.

Tesis de Licenciatura

Díaz-Lara L.A. 2015. Evaluación de la condición ambiental de tres sistemas lagunares de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. Tesis concluida. Diciembre, 2015.

Tesis de Doctorado concluidas

Flores-Cárdenas F. 2016. Evaluación del impacto de la variabilidad climática en la vegetación de manglar del sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. Tesis concluida. Marzo, 2016.

Millán-Aguilar, O. 2016. Evaluación de seis poblaciones de manglar en Sinaloa y Nayarit a través de técnicas de percepción remota y genética poblacional. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. Tesis concluida. Septiembre, 2016.

Tesis de Posgrado en proceso:

Lidia Esther Rodríguez Arredondo. Caracterización estructural y ecológica de los manglares en seis lagunas costeras de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. Tesis de Doctorado en Proceso.

María Luisa Ordoñez Rosas. Identificación de especies ícticas centinelas en manglares de la zona costera del sur de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. Tesis de Maestría en Proceso.

Otros productos:

Se integró un catálogo fotográfico georreferenciado de las 30 parcelas analizadas y de las zonas contiguas, además de fotografías en 360° en zonas de las lagunas de Huizache y San Ignacio-Navachiste-Macapule.

Se integró un catálogo de videos realizados con un Dron Phantom DJI 2.