



## PRE-INFORME PARCIAL

### PROYECTO RAÍCES: MANGLARES PARA LA COMUNIDAD Y EL CLIMA.

DESARROLLO DE ECOLOGÍA FORENSE

ASESORÍA TÉCNICA-CIENTÍFICA PARA EL DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR EN RESERVA DE LA BIÓSFERA MARISMAS NACIONALES, NAYARIT (RBMNN).



Instituto de Ciencias  
del Mar y Limnología





## DIRECTORIO

### ENLACES DE ORGANIZACIÓN

Mónica Reyes Sánchez  
The Nature Conservancy - México  
Coordinadora de conservación Marismas Nacionales  
monica.reyes@tnc.org



Coral Mascote  
World Wild Found  
Oficial de campo - WWF  
cmascote@wwfmex.org



### COORDINADOR DEL PROYECTO

Jony Ramiro Torres Velázquez  
Profesor Investigador Titular C  
Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui  
jtorres.velazquez@itvy.edu.mx



### COORDINADORA ADMINISTRATIVA

Dra. Zulia Mayari Sánchez Mejía  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón Sonora, México  
zulia.sanchez@itson.edu.mx



### COORDINADOR OPERATIVO

Dr. Francisco Flores de Santiago  
Investigador Titular A  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
ffloresd@cmarl.unam.mx



Instituto de Ciencias  
del Mar y Limnología

### COORDINADOR OPERATIVO

Dr. Leonardo Moroyoqui Rojo  
Especialista en ecosistemas de Manglar  
Humedales Sustentables A.C.  
leonmororojo@gmail.com





**BIÓLOGOS BECARIOS (OBJETIVO 1) DE APOYO EN ACTIVIDADES DE CAMPO Y LABORATORIO**

- Biól. Armenta Romo Manuel de Jesus
- Biól. Espinoza Zayas Yuditzy Ariana
- Biól. Gabriela López Cano
- Biól. Uribe Ochoa Angel Heriberto

**LABORATORIOS DE APOYO AL PROYECTO**

Laboratorio de Ecología de Zonas Costeras (LEZCO)  
Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Laboratorio de Ecometeorología  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón





## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros son ambientes de alta biodiversidad y elevada complejidad funcional, ocupan zonas de transición entre el medio marino y terrestre, y comprenden estuarios, arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares y marismas (Agardy & Alder, 2005). La importancia de las lagunas costeras y estuarios ha sido discutida ampliamente por varios autores entre los que se pueden citar a Yáñez-Arancibia y Nugent (1977), Yáñez-Arancibia (1978), García-Cubas (1981).

Los bosques de manglar son un ecosistema costero que se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, se caracterizan por una vegetación típicamente leñosa que se asocia con componentes de flora y fauna adaptados a condiciones de salinidad variable, sustrato no consolidado, poco oxígeno y un hábitat temporalmente sumergido por los ciclos de las mareas (Schaeffer-Novelli, 1995). Se distribuyen a menudo en zonas paralelas a la línea de costa, en respuesta a un gradiente altitudinal, que determina la frecuencia del flujo de las mareas (Robertson & Alongi, 1992).

A escala global, los manglares cubren una fracción aproximada de 137 760 km<sup>2</sup> (Giri et al., 2011). En México, los manglares se distribuyen a lo largo de las costas del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe, en diecisiete estados costeros. Según las últimas estimaciones de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2017); la superficie de manglar para México es de 775 555 hectáreas. Los manglares son conocidos por proporcionar muchos servicios ecosistémicos como alimentos, producción de peces e invertebrados; materias primas, como madera y combustible; regulación biológica, interacciones reguladoras entre diferentes interacciones tróficas; control de la contaminación, principalmente a través de la retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes; retención de suelos y protección contra tormentas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

En Nayarit se decreta La Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN) en mayo de 2010. Con poco más de 133 mil hectáreas se protege uno de los sistemas de humedales de mayor relevancia en México: las marismas y manglares. Se localiza al noroeste del estado en los municipios de Santiago Ixcuintla, Tuxpan, Rosamorada, Tecuala y Acaponeta. Es el humedal más importante del Golfo de California en el noroeste y sus 113,000 hectáreas de bosque de manglar representan del 15 al 20% de este ecosistema en México. Por ello su relevancia a nivel local, nacional e internacional,







ya que provee el espacio para la anidación y crianza de peces, moluscos, crustáceos, además es hábitat y zona de descanso para aves residentes y migratorias.

No obstante, la importancia socioeconómica y ecológica de esta Área Natural Protegida (ANP), presenta una serie de problemas ambientales, siendo el principal la pérdida de la cobertura del manglar, con el consecuente declive de la pesca en todas sus modalidades, la cual está íntimamente asociada a la existencia y calidad del ecosistema manglar. Aunado a esto, un problema potencial es el secuestro de flujos hídricos dulceacuícolas que son una amenaza para las marismas porque pone en riesgo la estabilidad de las cuencas que fluyen hacia el Pacífico.

Además, actualmente se identifican dos problemáticas que afectan al manglar como es la especie *Cissus verticillata* (Tripa de zopilote) que está causando amplia mortalidad del manglar de Marismas Nacionales, además la afectación reciente (hace dos años) del huracán Roslyn en 2022 que dañó severamente el estrato arbóreo de manglar.

### Situación problemática

Los humedales de manglar son ecosistemas singulares de gran valor natural donde se desarrollan alta biodiversidad de comunidades vegetales y fauna asociada. La infraestructura hidráulica como presas, represas, diques, canales, etc; y la gran cantidad de asentamientos humanos que se desarrollan a menos de 100 kilómetros de la costa, ejercen una gran presión sobre los ambientes costeros, además la atracción de los seres humanos por las costas, no siempre es acompañada de un conocimiento con orientación ambiental-ecológica de las mismas.

En Marismas Nacionales el interés de comunidad se ha centrado en el aprovechamiento de la madera de mangle blanco y algunos otros árboles, y (desde la década de 1980) en transformar sus bordes continentales en granjas camaroneras. Adicionalmente, el desarrollo de la infraestructura ha requerido la construcción de carreteras que los atraviesan los humedales costeros, dragados que desazolvan sus veneros y lagunas, canales y diques que abren o cierran sus bocas, diques agrícolas que interrumpen la marea y el escurrimiento continental, tapos pesqueros que atrapan con eficiencia la carga sedimentaria al interceptar los flujos biológicos (crustáceos, peces y moluscos) contenidos en el reflujos mareal; todos ellos constituyen las presiones ambientales internas y directas con origen y fines productivos. Tales presiones ambientales han generado impactos locales, por lo regular relativamente independientes entre sí y con carácter casi siempre reversible, así sea a





diferentes ritmos (Blanco et al., 2011). El caso del área de manglar pertenecientes a las comunidades de Unión de Corrientes y Palma Grande dentro de la reserva no son la excepción, por ello, el presente trabajo está enfocado en hacer un análisis detallado de diagnóstico del ecosistema de manglar, para atender las necesidades prioritarias de acuerdo a las problemáticas observadas que están interviniendo en el desarrollo de sus funciones ecológicas adecuadas, con fines de restauración del ecosistema.

Entre las afectaciones actuales del ecosistema de manglar en la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales Nayarit, es el impacto del Huracán Roslyn que tocó tierra el 23 de octubre cerca de Santa Cruz en el norte de Nayarit, a las 11:20 UTC con vientos de 195 km/h (120 mph). El daño a la estructura del manglar fue alto y por consecuencia se modificaron los servicios ambientales que presta el ecosistema. Es necesario realizar actividades de diagnóstico para promover actividades de restauración de las zonas dañadas por el huracán.

La tripa de zopilote (*Cissus verticillata*) nativa de los trópicos de México, se utiliza en medicina natural o como alimento para ganado. Sin embargo, por su comportamiento invasor, en la región de bosque de manglar en Nayarit, constituye una amenaza para la flora endémica en peligro de extinción o sujeta a protección especial como el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle negro (*Avicennia germinans*), el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) y el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Esta enredadera se extiende por la copa de los mangles, obstruye la entrada de luz e impide que se desarrollen las especies que dependen de ellos. En época de sequía, cuando la salinidad del agua en el manglar aumenta, la enredadera une sus raíces al tronco de dónde obtiene el agua dulce hasta secar el árbol (<https://pronatura-noroeste.org/>).





## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diagnóstico y caracterización del ecosistema de manglar conservado y sitios propuestos para la restauración, como conocimiento de línea base (Ecología Forense), en coordinación con participación comunitaria, Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales - CONANP, The Nature Conservancy y WWF-México.

### Dr. Jony R. Torres

**Objetivo 1:** Diagnóstico y caracterización estructural y ambiental (Físico químico agua y sedimento), y estimaciones de Carbono Azul en el ecosistema del Manglar RBMNN.

Productos entregables

- 1) Informe de capacitación que incluye recopilación fotográfica, listas de asistencia, evaluación del curso, evidencias de participación, relatoría, etc.
- 2) Informe sobre la caracterización ambiental del ecosistema de manglar conservado (manglar de referencia), sitios propuestos para la restauración, que describa y analice los atributos estructurales y variación físico química en agua y sedimentos.
- 3) Informe sobre el stock y almacenes de carbono azul.

### Dr. Francisco Flores de Santiago

**Objetivo 2:** Caracterización del dosel de las especies de manglar y análisis de Fourier de la inundación.

Productos entregables

- 1) Informe que describa y analice la variabilidad fenológica del manglar en las últimas tres décadas.
- 2) Informe que muestre el análisis de Fourier entre la amplitud y frecuencia de la inundación.

### Objetivos específicos

- ✓ Analizar la variabilidad fenológica del dosel de las diferentes especies y clases fisiognómicas de manglar a lo largo de los sitios de estudio durante las últimas tres décadas (1995-2023) por medio de herramientas geomáticas de última generación.
- ✓ Caracterizar el ambiente en cuanto a su frecuencia y amplitud de inundación por medio de sensores de nivel del agua instalados a lo largo de los sitios de muestreo.





## Descripción del área de estudio

El complejo lagunar-estuarino Teacapán-Agua Brava-Las Haciendas (~3500 km<sup>2</sup>), mejor conocido como Marismas Nacionales, se localiza en la costa del océano Pacífico de México, entre los estados de Sinaloa y Nayarit (Valderrama-Landeros et al., 2020). Marismas Nacionales se encuentra bajo la categoría de Área Natural Protegida federal, con calidad de Reserva de la Biósfera, con decreto en 2010 y Sitio RAMSAR designado en 1995. Marismas Nacionales cuenta con numerosos canales de inundación y lagunas costeras, siendo las más grandes las lagunas de Agua Brava y Agua Grande. Recibe el aporte de 12 ríos de la Sierra Madre Occidental, siendo el San Pedro y el Acaponeta los únicos sin represar (Valderrama-Landeros y Flores-de-Santiago, 2019) los cuales descargan al mar indirectamente mediante deltas lacustres, que controlan la mayor parte del aporte sedimentario medio y fino del transporte y deposición aluvial y estuarina, y cargan en gran medida con las funciones de mantenimiento del hábitat y de productividad ecológica (Ortiz Pérez, 1988).

En la delimitación que describe el Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales Blanco *et al.* (2011) menciona que los manglares del área que le corresponden a Palama Grande se encuentran en deltas lacustres antiguos y reciben agua subterránea de la planicie deltaica de la margen derecha del río San Pedro y descarga del flujo marea de Agua Brava con influencia fluvial indirecta y o excepcional del Río San Pedro. En cambio, el sistema de Unión de Corrientes es un complejo de lagunas y cañadas que drenan los distributarios, lagunas y llanuras palustres intermareales del Frente Deltaico El Fraile, hacia el Estero de Camichín, el cual recibe flujos fluviales estacionales y freáticos del río San Pedro y marea de agua Brava. Descripción que abona para el entendimiento de la estructura del manglar en estas zonas.

Sin embargo actualmente estos sistemas están siendo degradados por las presiones antropogénicas antes mencionadas en este trabajo, en específico la obstrucción de flujos por la carretera establecida modificando los flujos naturales al igual que el establecimiento de Granjas camaroneras que aun cuando muchas de ellas están en desuso vinieron a modificar los flujos principalmente los continentales, sin dejar de mencionar que en su momento el secuestro de marea de las mismas estaba siendo un problema que sometió a estrés hídrico ciertas áreas, viéndose reflejado en la degradación de las especies de manglar principalmente en Unión de Corrientes, además de que actualmente se tiene un grave problema fitosanitario por invasión de la planta enredadera que está proliferando de manera excesiva en el área llamada localmente; Tripa de Zopilote (*Cissus verticillata*)





que cubre la copa de los árboles de mangle en su totalidad provocando su deterioro por perdida de follaje y en ocasiones hasta la muerte de los organismos de las diferentes especies presentes. A diferencia del ecosistema de Palma Grande que de acuerdo a lo observado en campo no se ve directamente este tipo de problemáticas, pero si los daños ocasionados por el huracán Roslyn en 2022 el cual derribo casi en su totalidad el manglar (90% de la cobertura estimada por observación) que mantenía alturas de 15 a 25m de altura, los cuales actualmente se están degradando en el sitio provocando la obstrucción de flujos naturales de las mareas que mantienen estos ecosistemas, sin dejar de mencionar la presión que se está ejerciendo en los mismos con el corte de madera ya que es un ejido que cuenta con el permiso de aprovechamiento de madera del Mangle (*Laguncularia racemosa*) aun así se pudo observar una alta incidencia de renuevos en los sitios visitados.





**Dr. Jony R. Torres**

**Objetivo 1:** Diagnóstico y caracterización estructural y ambiental (Físico químico agua y sedimento), y estimaciones de Carbono Azul en el ecosistema del Manglar RBMNN.

### Materiales y métodos

Para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto se realizó la primera visita a la Reserva de la Biósfera de Marismas Nacionales, Nayarit, con fechas del 31 al 5 de abril del 2024 y una segunda visita de monitoreo con fechas del 3 al 6 de junio del 2024, a los ecosistemas de manglar correspondientes a las comunidades de Unión de Corrientes y Palma Grande. Donde se procedió a seleccionar 12 sitios de muestreo con dos unidades de monitoreo, dando como resultado veinticuatro unidades de monitoreo (Figura 1) sitios en cuales se realizaron mediciones correspondientes para caracterizar el ecosistema en términos ecológicos.

### SITIOS DE ESTUDIO EN MARISMAS NACIONALES

Laguna en Unión  
de Corrientes

Laguna en  
Palma Grande



Figura. Localización de los sitios de estudio, monitoreo del ecosistema de Manglar.





La siguiente tabla muestra las coordenadas de los diferentes sitios de monitoreo donde se realizaron las diferentes actividades de mediciones *in situ* y toma de muestras para la caracterización y determinaciones del stock y almacenes de carbono azul del ecosistema de manglar en Marismas Nacionales, Nayarit.

Los sitios propuestos para la restauración son para Palma Grande en Sitio 1, 4 y 6, para la localidad de Unión de Corrientes los sitios próximos a zonas de restauración son 8, 9 y 10. Sin embargo, estos sitios se van a discutir más ampliamente con el cumplimiento del objetivo 3 financiado por la organización World Wild Founf (WWF), cuando se realice el análisis integral de los tres objetivos planteados en la propuesta inicial.

**Tabla. Coordenadas de los sitios de monitoreo**

Sitio 1	GPS
Palma Grande	22° 1'48.73"N
	105°29'50.41"O
Sitio 2	GPS
Palma Grande	22° 1'3.04"N
	105°29'34.18"O
Sitio 3	GPS
Unión de Corrientes	21°58'42.70"N
	105°28'19.40"O
Sitio 4	GPS
Unión de Corrientes	21°58'44.00"N
	105°28'34.60"O
Sitio 5	GPS
Unión de Corrientes	21°58'40.30"N
	105°28'42.40"O
Sitio 6	GPS
Unión de Corrientes	21°58'39.70"N
	105°28'27.30"O

Sitio 7	GPS
Palma Grande	22° 1'41.20"N
	105°28'40.40"O
Sitio 8	GPS
Palma Grande	22° 1'23.00"N
	105°29'1.00"O
Sitio 9	GPS
Palma Grande	22° 2'34.22"N
	105°29'49.12"O
Sitio 10	GPS
Palma Grande	22° 1'13.64"N
	105°29'19.45"O
Sitio 11	GPS
Unión de Corrientes	21°59'33.68"N
	105°28'38.49"O
Sitio 12	GPS
Unión de Corrientes	21°58'34.61"N
	105°29'17.47"O



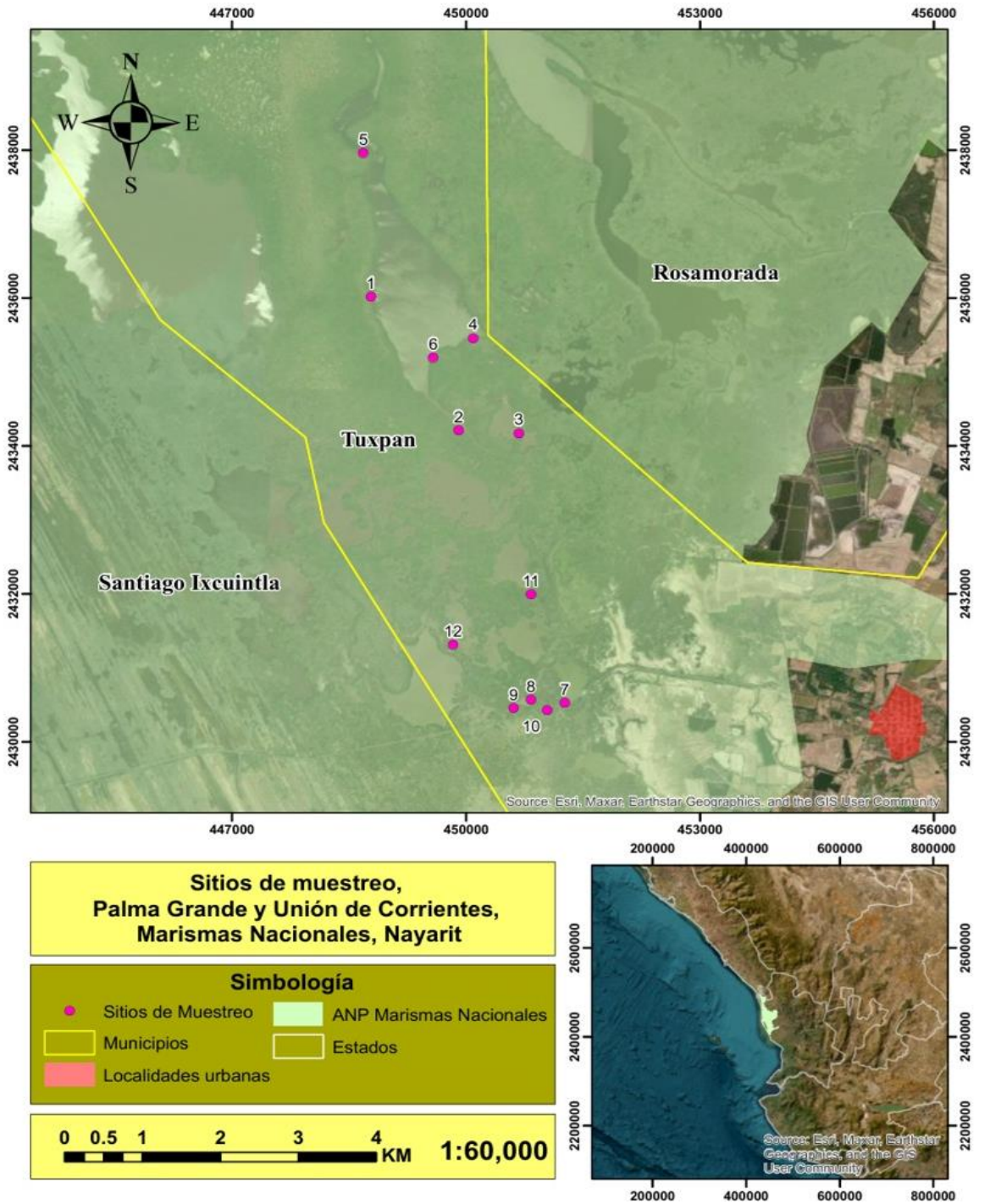


Figura. Localización de los sitios de estudio, monitoreo del ecosistema de Manglar Conservado





### Variabes físico químicos en agua y sedimento

Se obtuvo una muestra de agua intersticial en cada unidad de monitoreo (50 cm de profundidad) por medio del uso de piezómetros de campo y se registró el pH, temperatura (°C), conductividad (mS/cm), salinidad (ups) y potencial redox (mV), por medio del uso de un multiparámetro Hanna HI9828 para cada una de las muestras colectadas en campo. Es importante mencionar que los monitoreos se realizaron en temporada de secas, por lo tanto, no se presentaron sitios con patrón de inundación por encima del nivel del suelo (Agua superficial).



**Foto:** Mediciones de físico químicos de agua intersticial por medio del multiparamétrico Hanna en sitios de monitoreo Marismas Nacionales.

Para evaluar las variables en sedimento se colectaron dos muestras en los primeros 20 cm de suelo en cada unidad de monitoreo (UM) (48 muestras) por medio de un nucleador (0.0033 m<sup>2</sup>) para determinar textura según el método Bouyucos (Klute, 1986), el pH por electrometría en relación 1:2 con el agua, y el contenido de materia orgánica (OM) por ignición según Heiri et al. (2001). Además, se colectaron dos muestras de sedimento con volumen conocido en cada UM para determinar la densidad aparente y contenido de humedad del suelo (48 muestras) de acuerdo con Moreno-Casola y Warner (2009). Se colectaron un total de 96 muestras de sedimentos para realizar los análisis en el Laboratorio de Ecología de Zonas Costeras en el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui.







**Foto:** Toma de muestras de sedimento para determinaciones de parámetros físico químicos del sedimento del manglar (i.e. Textura, densidad, materia orgánica, etc.)

### Estructura forestal del manglar

En cada UM se estableció un cuadrante de 10x10 m para medir la abundancia de manglar adulto, altura, diámetro normal (DAP>2.5 cm), largo y ancho de cada árbol para posteriormente determinar el área basal y cobertura. Derivado de las afectaciones que tiene actualmente el manglar, derivado de las afectaciones del huracán Roslyn que ingreso a las costas de Nayarit con fechas del año 2022, se realizaron modificaciones a la metodología para medir árboles adultos caídos, con la intención de estimar la cantidad de carbono correspondiente al estrato arbóreo que se encuentra actualmente en proceso de degradación natural y se observan los procesos de sucesión del bosque donde las plántulas y reclutas emergen en el dosel para la recuperación del estrato arbóreo.



**Foto:** Mediciones de estructura forestal en sitios de monitoreo





### Productividad primaria en base a hojarasca sobre suelo

La colecta de hojarasca acumulada sobre el suelo se realizó por medio de la metodología de intersecciones planares con cuadrantes de 50x50 cm, descrita por Barrios-Calderon (2015), distribuyendo cuatro líneas de intersección planar con longitud de 10 m. Se colectaron 3 cuadrantes de superficie con medidas de 50x50 cm en cada sitio, con un total de 24 muestras de hojarasca a procesarse en peso seco y separadas por cada uno de sus componentes (hojas, estípulas, flores, frutos y maderas) por cada especie presente en los sitios de monitoreo.



**Foto:** Colecta de muestras de hojarasca sobre suelo en hábitat de manglar

### Biomasa de raíces subterránea (BRS)

La biomasa de raíces subterráneas se determina de acuerdo con Adame et al. (2017). Se tomaron dos núcleos en cada UM (32 núcleos en total), mediante el uso de un núcleo de acero inoxidable de 11 cm de diámetro y 45 cm de profundidad, que es la porción más activa de las raíces (Castañeda-Moya et al., 2011). Además, la muestra se clasificó por profundidad en los estratos primero (0-15 cm), segundo (15-30 cm) y tercero (30 a 45 cm). Un total de 144 muestras de raíces. Cada muestra se mantuvo fría (4 °C) y se transportó al laboratorio en Ciudad Obregón, Sonora, luego se lavó con agua dulce a través de una malla de 500 micrones para separar las raíces del sustrato. Las raíces se sumergieron en agua; las raíces vivas flotantes se extrajeron a mano de raíces muertas hundidas en base a lo propuesto por Castañeda-Moya et al. (2011). La necromasa (raíces muertas) se pesó en seco en cada uno de los estratos de profundidad. Los datos se mostrarán en gramos de peso seco por metro cuadrado ( $gDw \cdot m^{-2}$ ) para cada clase diamétrica y estrato de profundidad.





**Foto:** Colecta de raíces subterráneas y tamizado para su procesamiento en laboratorio.

### Stock de carbono

La biomasa aérea será determinada por medio de las ecuaciones alométricas para *Avicennia germinans*, *laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, propuestas por Smith and Whelan (2006), desarrolladas para la región del Sur de Florida, Estados Unidos con atributos estructurales similares a los bosques de manglar del Golfo de California.

Tabla. Ecuaciones alométricas para determinar biomasa de árboles de manglar

Componente	Especie	Ecuación	Referencia
BA: Árboles vivos	<i>Rm</i>	$B = 0.722 * \rho * (D_R)^{1.731}$	Smith y
	<i>Ag</i>	$B = 0.403 * \rho * (DAP)^{1.934}$	Whelan, 2006
	<i>Lr</i>	$B = 0.362 * \rho * (DAP)^{1.92}$	

*Rm*= *Rhizophora mangle*; *Lr*= *Laguncularia racemosa*; B=biomasa;  $D_R$ = diámetro a 30 cm de la raíz más alta; DAP= diámetro a la altura de pecho (cm);  $\rho$ = densidad de la madera ( $g\ cm^{-3}$ )

El factor de conversión será utilizado para determinar el contenido de carbono a partir de la biomasa de los árboles fue el propuesto por Kauffman y Donato, 2011: Contenido de carbono de cada árbol ( $MgC \cdot ha$ ) = biomasa del árbol \* factor de conversión de carbono (0.48). Además, Las concentraciones medias de carbono de la hojarasca recolectada sobre suelo se han reportado como 38–49% (Kauffman et al. 1993, 1995). Se recomienda un factor de conversión de aproximadamente 0,45. Carbono en el componente de hojarasca ( $MgC_{org} \cdot ha$ ) = (Biomasa promedio de hojarasca \* factor de conversión de carbono (0.45)) / área de la parcela (Kauffman y Donato, 2011).





Jaramillo et al. (2003) informaron que el valor adecuado para el contenido de carbono de raíces es 39% (mediana). Contenido de carbono de las raíces subterráneas ( $MgC_{org} \cdot ha$ ) = Biomasa subterránea \* factor de conversión de carbono (0.39). Para determinar el contenido de carbono en necromasa se utilizó valor predeterminado aceptable basado en el contenido de carbono de la madera muerta en los bosques tropicales (50%). Contenido de carbono en necromasa ( $MgC_{org}/ha$ ) = biomasa de necromasa \* factor de conversión de carbono (0.5) (Howard et al., 2014). El carbono contenido en los sedimentos será determinado por medio de muestras tomadas en campo a 1 metro de profundidad, seccionado por estratos (192 muestras). Es importante mencionar que las muestras se tomaron y serán procesadas en siguientes etapas del proyecto, los resultados de carbono en sedimento no se reportarán en el informe final del presente proyecto (Junio 2024).



**Foto:** Toma de muestras para carbono en sedimento a un metro de profundidad, las muestras se congelan para su posterior procesamiento en laboratorio especializado.

**Tabla.** Variables a medir en campo (*in situ*) y determinadas en procesamiento de muestras en laboratorio.

Componente	Variables	Tipo de determinación
Sedimento del manglar	Densidad aparente	Toma de muestras en campo y procesamiento en laboratorio
	Contenido de humedad	
	Contenido de materia orgánica	
	Niveles de pH	
	Textura (Arena, limo, arcilla)	
Agua intersticial (50 cm de profundidad)	Niveles de pH	Procedimiento para mediciones de campo <i>in situ</i>
	Temperatura (°C)	
	Conductividad (mS/cm)	
	Salinidad (ups)	
	Potencial redox (mV),	
Estructura Forestal	DAP	Toma de datos en campo y procesamiento de datos en escritorio de computadora.  Se analiza organismos en pie y sobre suelo, derivado de las afectaciones del huracán.
	Altura	
	Especie	
	Área basal	
	Cobertura	
Hojarasca	Productividad en suelo por especie y componentes	Toma de muestras en campo y procesamiento en laboratorio
	Biomasa de hojarasca en suelo	
Neumatóforos	Densidad de neumatóforos	Toma de muestras en campo y procesamiento en laboratorio
	Altura de neumatóforos	
	Biomasa de neumatóforos	
Raíces subterráneas (45 cm de profundidad)	Biomasa de raíces subterráneas	Toma de muestras en campo y procesamiento en laboratorio
	Biomasa por estrato de profundidad	
	Biomasa por clase diamétrica	
	Necromasa en suelo	
Carbono en relación a la biomasa	Carbono aéreo (Estructura, neumatóforos, hojarasca)	Toma de muestras en campo y procesamiento en laboratorio
	Carbono subterráneo (Raíces, necromasa y sedimentos).	

### Análisis estadístico

Se utilizará el software IBM SPSS Statistics 20 para el procesamiento de datos. Los datos se analizarán mediante Kolmogorov-Smirnov y Homogeneidad de varianzas de Levene. Las diferencias en los grupos de datos de físico químicos de agua y sedimento, estructura, neumatóforos, hojarasca, necromasa y biomasa de raíces subterráneas, ordenados espacialmente (sitios), con un nivel de significación del 5% utilizando ANOVA de Tukey de una vía (Steel y Torrie, 1996).

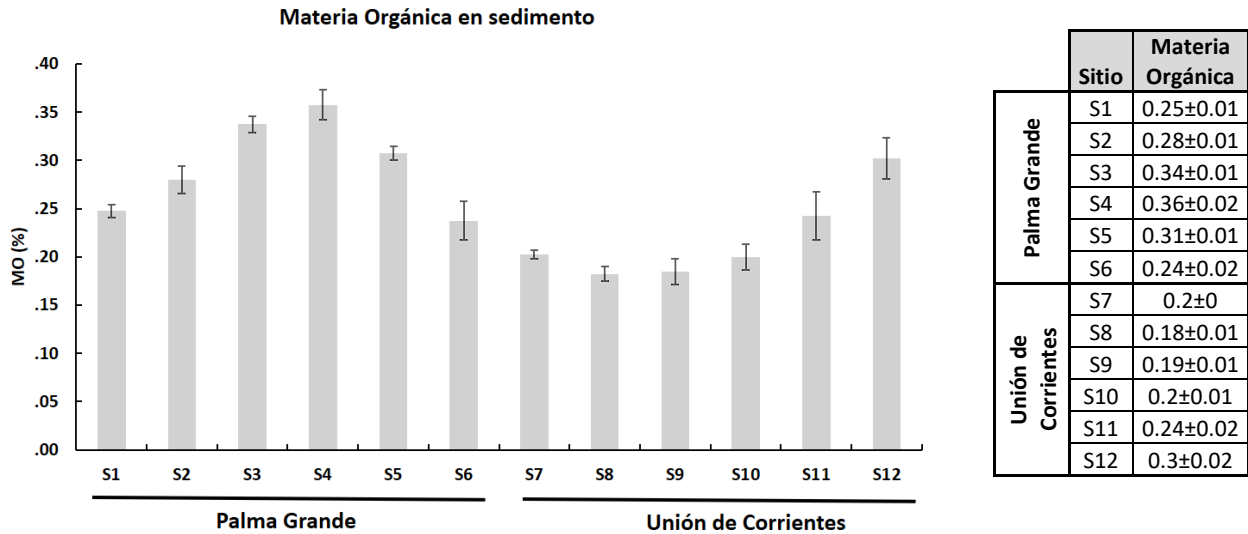




**PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

**Variación físico química del sedimento en ecosistema de manglar**

Los contenidos de materia orgánica en sedimentos del ecosistema de manglar, no mostró diferencias significativas entre cada una de las localidades, aún con la variación entre sitio (N=48 F=18 p=0.1), con los más altos valores en el sitio 4 de Palma Grande con 36% y el menor valor en sitio 8 de Unión de Corrientes con 18%. Se denota altos contenidos de materia orgánica en los sitios 3, 4 y 5 de Palma Grande con 36% en promedio. El sitio 9 de Unión de Corrientes registró bajos contenidos de materia orgánica debido a la baja cobertura y productividad del ecosistema debido al alto impacto de mortalidad y baja cobertura por la incidencia de la especie epífita Tripa de Zopilote (*Cissus verticillata*), que está causando la mortalidad de la totalidad del manglar y en consecuencia se identificaron zonas desprovistas de vegetación, que genera alta incidencia de luz solar, alta evaporación y acumulación de sales superficial en sedimento.

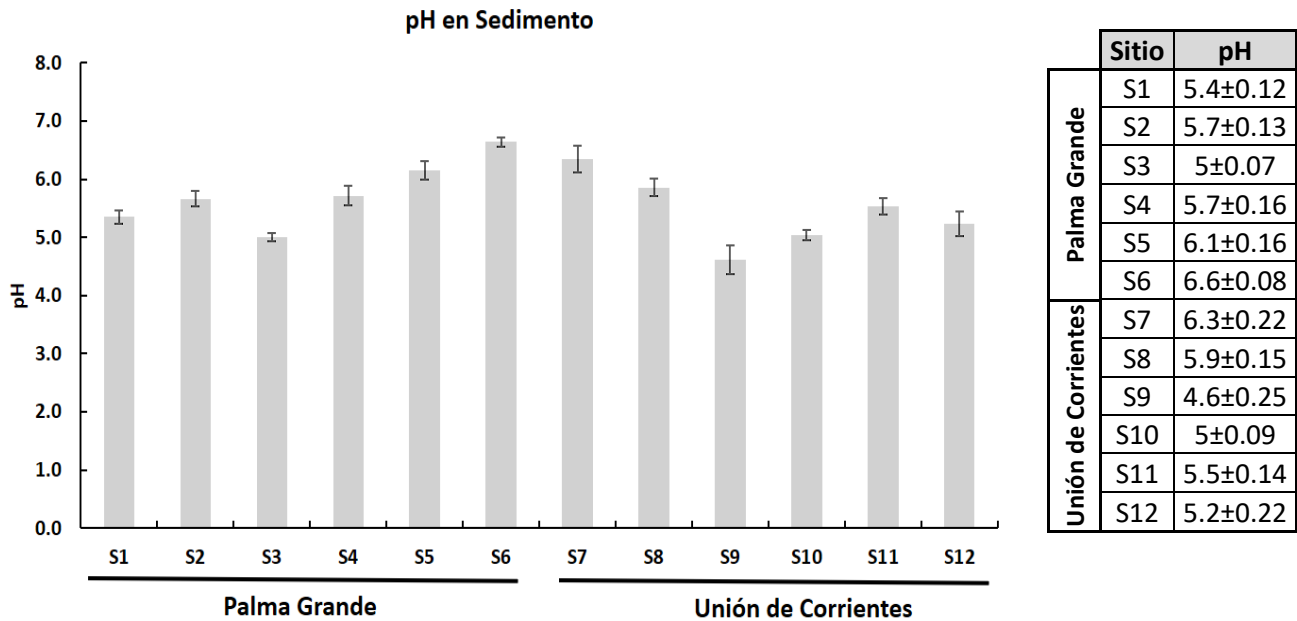


**Figura.** Contenido de materia orgánica (MO) en sedimento (S=Sitio, Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).





Los valores de pH en sedimento se mantuvieron en un rango de 4.5 a 5.9 sin diferencias significativas ( $N=48$   $F=14$   $p=0.13$ ), con valores estables y característicos de humedales de ecosistemas de manglar. En promedio se registraron valores de 5.8 en Palma Grande y de 5.4 en Unión de Corrientes.



**Figura.** Variación del pH en sedimento (S=Sitio, Prueba Tukey  $p<0.05$ ,  $\pm$  error estándar).

En relación a los grupos texturales del sedimento del manglar se identificaron altos contenidos de limo con 45%, arena con 32 % y arcilla con 22% en promedio. El alto contenido de limo es un indicador de suelos con alta capacidad de retención de componentes como materia orgánica, nutrientes, humedad (agua), entre otros; sin embargo, en el sitio 3 y 4 de la comunidad de Palma Grande presentaron valores altos de sustratos arenosos con 43% en promedio. Arena y limo presentaron diferencias significativas entre sitios ( $N=48$   $F=5.1$   $p=0.001$  y  $N=48$   $F=4.5$   $p=0.005$  respectivamente), mientras que arcilla no registró diferencias ( $N=48$   $F=1.28$   $p=0.08$ ). El alto contenido de humedad y materia orgánica concuerda con Bjorn y McLaugherty (2008), quienes mencionaron que los suelos con mayor contenido de arcilla son capaces de almacenar más materia orgánica que los suelos arenosos, así mismo, mencionan que la textura es la propiedad física más importante del suelo e influye directamente en la dinámica del agua y nutrientes derivado de la porosidad y permeabilidad que presente el suelo.



**Textura de Sedimento**

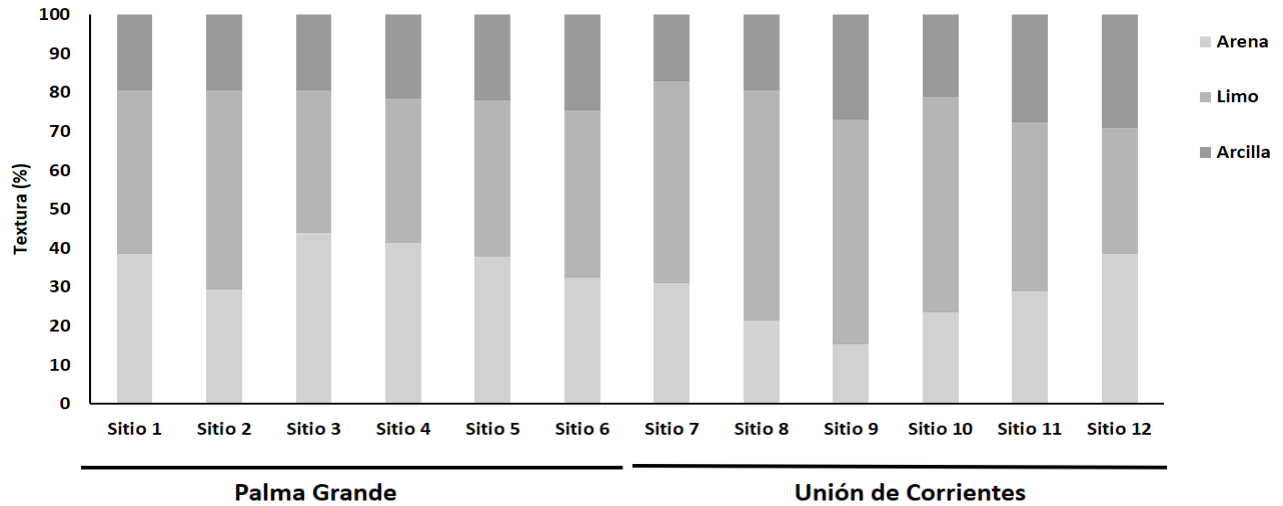
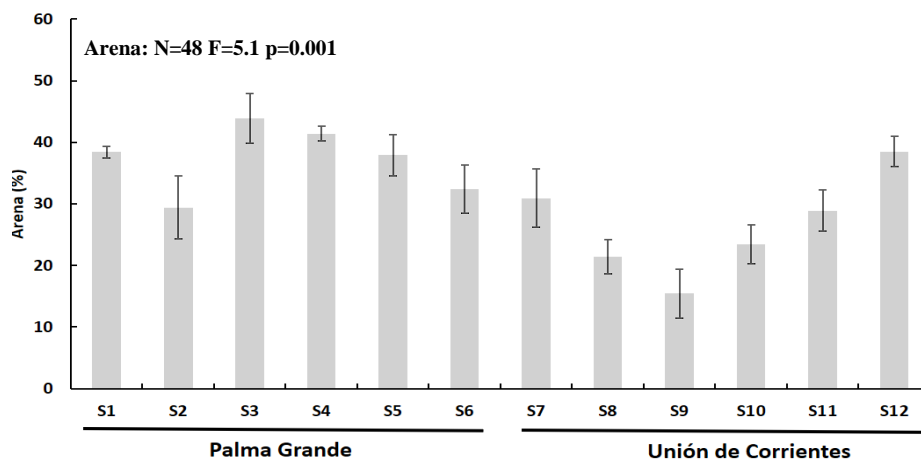


Figura. Contenidos de Arena, limo y arcilla en sedimento.

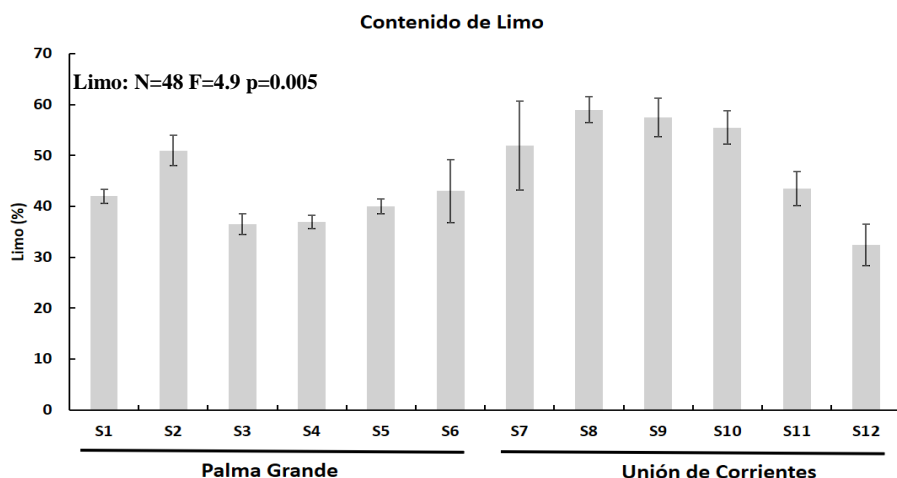
**Contenido de Arena**



	Sitio	Arena
Palma Grande	S1	38±1
	S2	29±5.1
	S7	44±4
	S8	41±1.3
	S9	38±3.3
	S10	32±3.9
Unión de Corrientes	S3	31±4.7
	S4	21±2.8
	S5	15±4
	S6	23±3.2
	S11	29±3.4
	S12	39±2.5

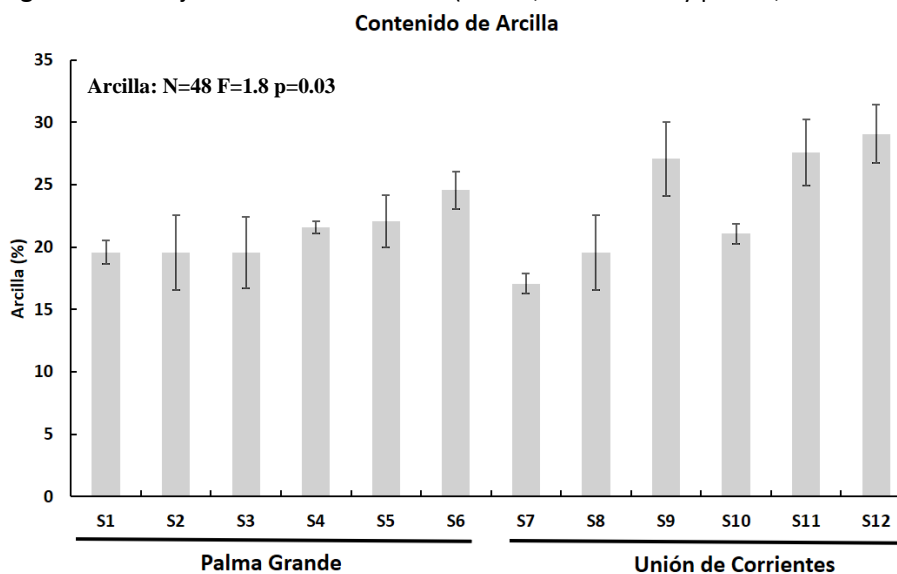
Figura. Contenido de arena en sedimento (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar).





	Sitio	Limo
Palma Grande	S1	42±1.4
	S2	51±3
	S3	37±2.1
	S4	37±1.3
	S5	40±1.4
	S6	43±6.2
Unión de Corrientes	S7	52±8.8
	S8	59±2.5
	S9	58±3.8
	S10	56±3.3
	S11	44±3.4
	S12	32±4.1

**Figura.** Porcentaje de Limo en sedimento (S=Sitio, Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).



	Sitio	Arcilla
Palma Grande	S1	20±1
	S2	20±3
	S3	20±2.9
	S4	22±0.5
	S5	22±2.1
	S6	25±1.5
Unión de	S7	17±0.8
	S8	20±3
	S9	27±3
	S10	21±0.8
	S11	28±2.6
	S12	29±2.4

**Figura.** Porcentaje de Arcilla en sedimento (S=Sitio, Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).

La densidad aparente del suelo mostró diferencias significativas (N=48 F=16 p<0.05). debido a los bajos valores en sitio 9 de Unión de Corrientes con 0.28 g/cm<sup>3</sup> y los altos valores de los sitios de Unión de corrientes 11 y 12, con 0.37 g/cm<sup>3</sup>. El promedio de la densidad aparente en Palma Grande fue de 35±0.006 g/cm<sup>3</sup> mientras que en Unión de Corrientes registró 43±0.006 g/cm<sup>3</sup>. El contenido de humedad no registró diferencias significativas con baja variación entre sitios (N=48 F=827 p=0.003). La densidad aparente y el contenido de humedad del suelo se midieron de acuerdo a lo propuesto por Moreno-Casasola y Warner (2009), el contenido de humedad del suelo es el peso de



agua que es capaz de almacenar un gramo de suelo, si el valor fuera 100% significaría que 1 g de suelo almacena 1 g de agua (Infante, 2011). La relación de la densidad aparente y el contenido de humedad (Fig. x) muestra que los sitios de la localidad Palma Grande tienen la mayor capacidad de retención de humedad por su baja densidad aparente; en lo que respecta a los sitios de Unión de Corrientes muestran alta densidad aparente y por lo tanto, baja capacidad de retención de materia orgánica y humedad (Agua), esto se puede atribuir a la alta abundancia de la especie Tripa de Zopilote (*Cissus verticillata*) y de la evidente degradación de la estructura forestal por el huracán Roslyn en el año 2022 que ocasionó pérdida de la cobertura vegetal. Una baja retención de nutrientes, agua y materia orgánica, genera una disminución en la biogeodinámica que impulsa la productividad del ecosistema.

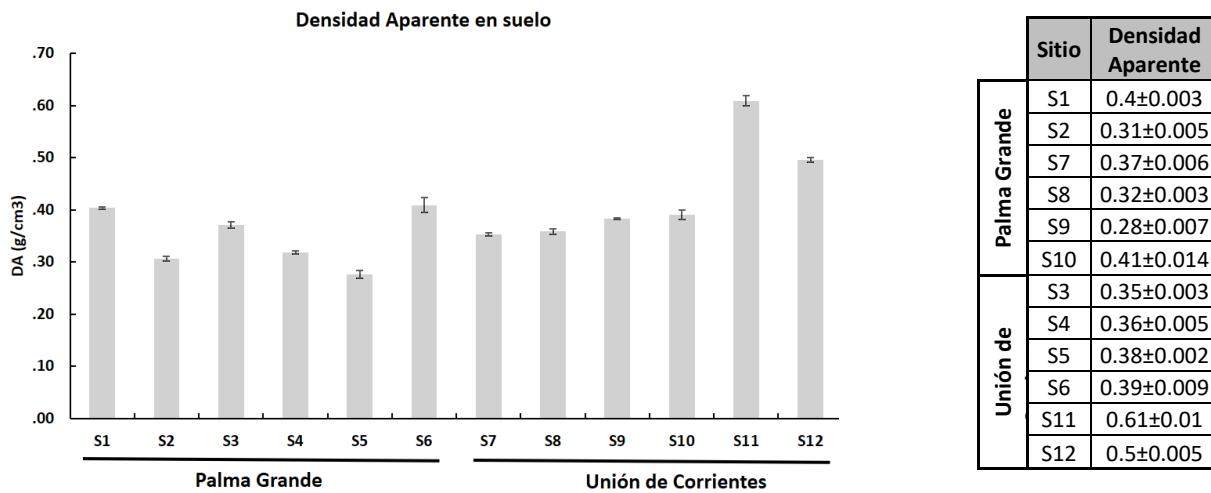


Figura. Densidad aparente del sedimento del ecosistema de manglar (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar).

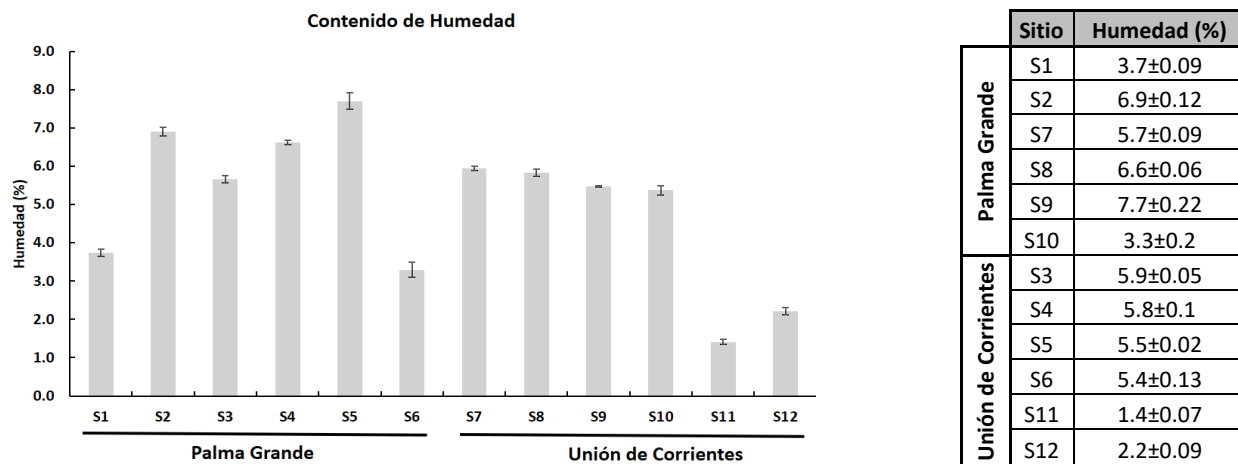


Figura. Contenido de humedad en sedimento (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar).





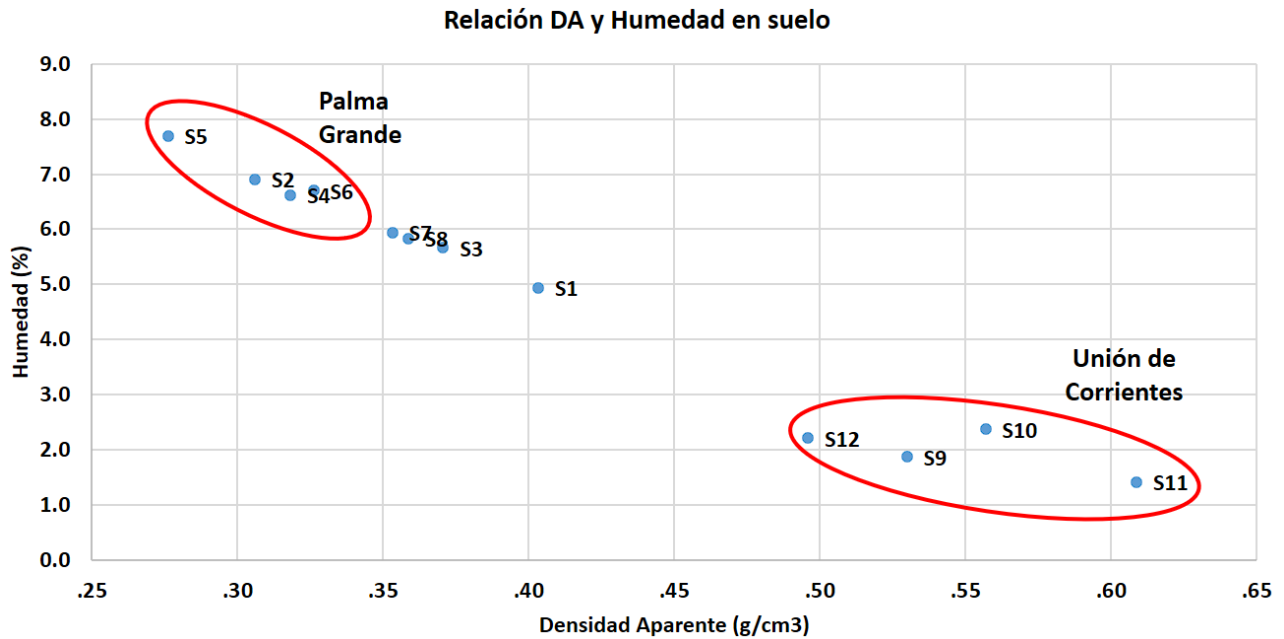


Figura. Relación de la Densidad aparente con el Contenido de humedad en el suelo del ecosistema de manglar.

## Variación físico química del agua intersticial en ecosistema de manglar

La variación del físico químico del agua intersticial en ecosistema de Manglar registró valores de pH sin diferencias significativas ( $N=48$   $F=1.1$   $p=0.36$ ) con bajo rango de variación entre  $6.3 \pm 0.11$  y  $87.4 \pm 0.15$  en promedio. La temperatura ( $N=48$   $F=3.4$   $p=0.006$ ) con valores mínimos en sitios 1 y 2 de Palma Grande con  $23.9 \pm 0.2$  °C en promedio y el valor más alto en sitio 1  $29.7 \pm 0.2$ . El valor más alto de salinidad en agua intersticial se registró en el sitio 9 de Unión de Corrientes con  $44 \pm 0.7$  UPS, lo que se puede atribuir al deterioro ambiental del sitio por la presencia abundante de tripa de zopilote (*Cissus verticillata*) con baja cobertura que aumenta la evaporación del agua y en consecuencia una acumulación de sales, tanto superficial como intersticial. La acumulación de sales zonifica las especies, con la inhibición de germinación de especies como *L. racemosa* y *R. mangle* y permitiendo la presencia de plántulas de *A. germinans* que tolera salinidades de hasta 70 UPS. En relación al potencial de óxido reducción se registró tendencias reductivas en todos los sitios, excepto en los sitios 1 y 2 de la localidad El Palmar con tendencia oxidativa (Ver tabla x). Los altos niveles reductivos en la mayoría de los sitios, muestra condiciones con tendencia anóxica (Poco oxígeno disuelto).





**Tabla.** Variación físico química del agua intersticial en ecosistema de manglar

Ejido El Palmar						
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6
pH	6.7±0.1	6.4±0.2	6.6±0.3	6.8±0.2	7.3±0.4	7.4±0.4
Temp °C	30±0.2	24±0.2	24±0.1	24±0.3	24±1.1	29±1.3
Cond Ms/cm	36.3±2.2	34.6±1.3	44.3±0.3	42.5±1.4	44.2±2	61.6±2.8
Salinidad UPS	21±1.3	22±1	29±0.2	27±1	29±1.3	38±1.7
ORP mV	-146.1±0.1	-202±32.8	-467±0.1	-466.9±0.2	-458.8±20.6	-368.8±16.5
Unión de Corrientes						
	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9	Sitio 10	Sitio 11	Sitio 12
pH	7.2±0.1	6.5±0.1	6.6±0.1	6.6±0.1	6.3±0.3	6.8±0.6
Temp °C	24±0.5	26±0.6	25±0.1	25±0.2	24±1.5	25±2.7
Cond Ms/cm	44.5±4.5	59.7±0.8	64±1	58.3±1.2	47.9±10.2	49.9±8
Salinidad UPS	29±2.9	39±0.9	44±0.7	37±0.3	30±1.7	32±1.3
ORP mV	-308.8±106.2	-452.9±2.5	-377.2±34	-393.7±16	-358.3±91.8	-422.2±14.8

(Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).

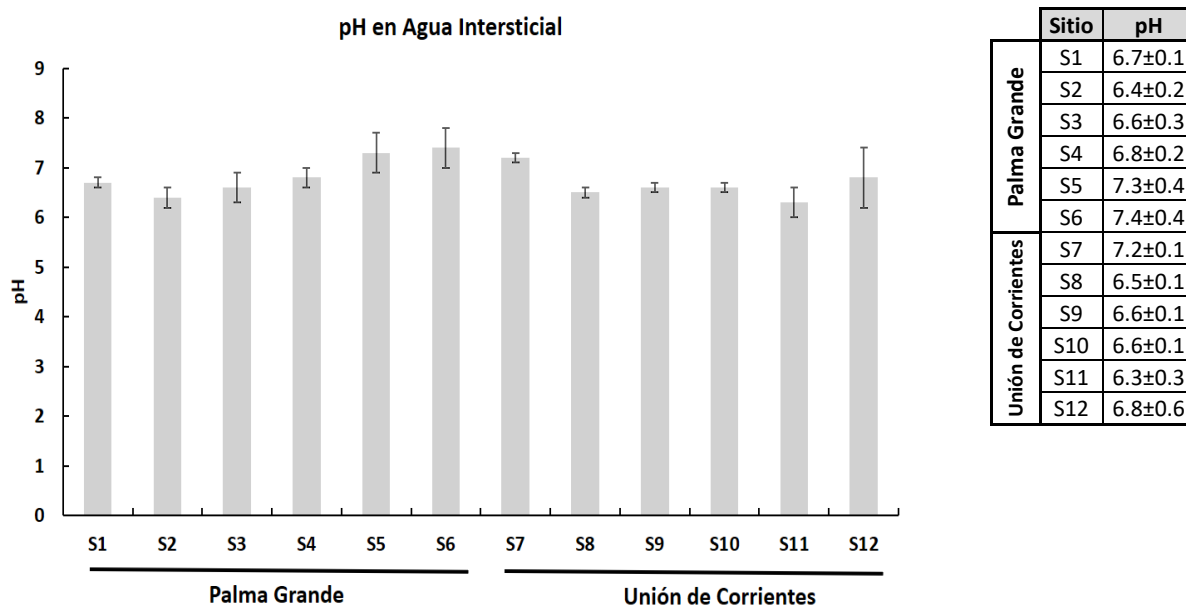
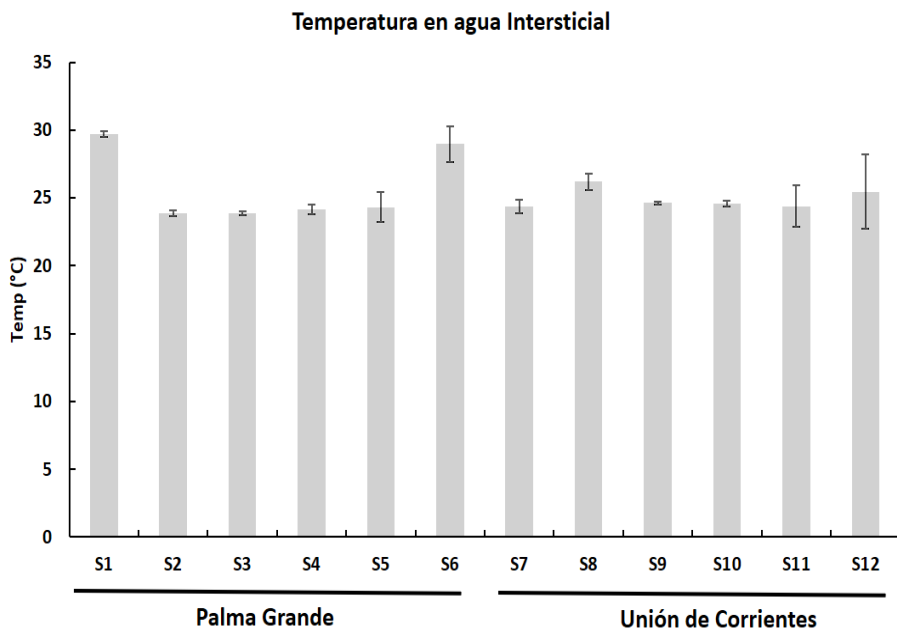


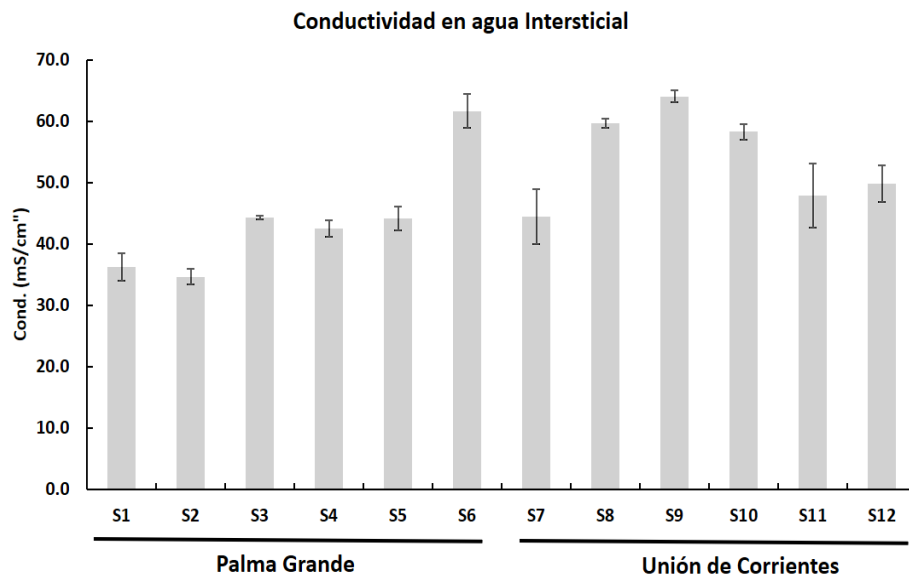
Figura. Variación del pH en agua intersticial del ecosistema de manglar (S=Sitio, Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).





	Sitio	Temp °C
Palma Grande	S1	30±0.2
	S2	24±0.2
	S3	24±0.1
	S4	24±0.3
	S5	24±1.1
	S6	29±1.3
Unión de Corrientes	S7	24±0.5
	S8	26±0.6
	S9	25±0.1
	S10	25±0.2
	S11	24±1.5
	S12	25±2.7

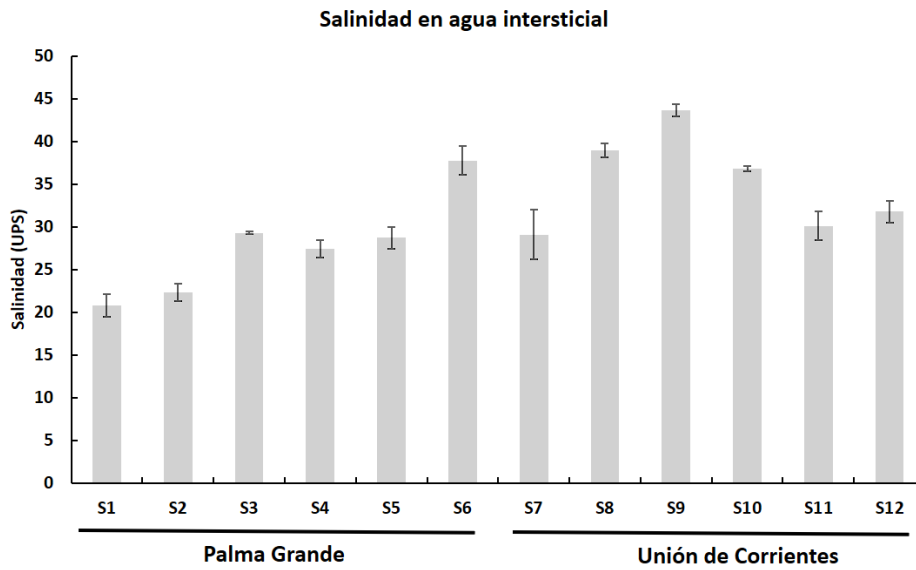
**Figura.** Variación de la temperatura en agua intersticial del ecosistema de manglar (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar).



	Sitio	Cond. (mS/cm²)
Palma Grande	S1	36.3±2.2
	S2	34.6±1.3
	S3	44.3±0.3
	S4	42.5±1.4
	S5	44.2±2
	S6	61.6±2.8
Unión de Corrientes	S7	44.5±4.5
	S8	59.7±0.8
	S9	64±1
	S10	58.3±1.2
	S11	47.9±10.2
	S12	49.9±8

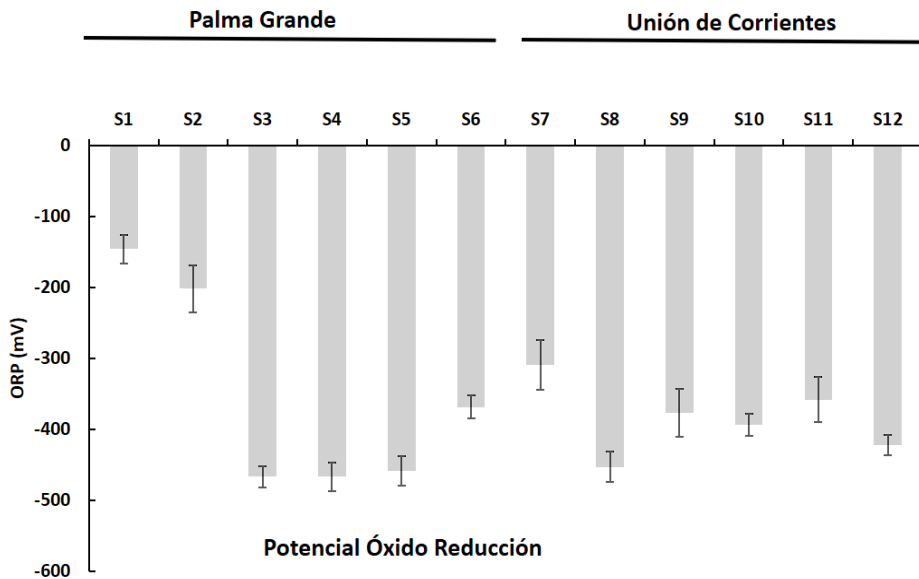
**Figura.** Variación de la conductividad en agua intersticial del ecosistema de manglar (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar).





	Sitio	Salinidad
Palma Grande	S1	21±1.3
	S2	22±1
	S3	29±0.2
	S4	27±1
	S5	29±1.3
	S6	38±1.7
Unión de Corrientes	S7	29±2.9
	S8	39±0.9
	S9	44±0.7
	S10	37±0.3
	S11	30±1.7
	S12	32±1.3

Figura. Variación de la Salinidad en agua intersticial del ecosistema de manglar (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar), (UPS: Unidades prácticas de salinidad).



	Sitio	ORP (mV)
Palma Grande	S1	-146.1±0.1
	S2	-202±32.8
	S3	-467±0.1
	S4	-466.9±0.2
	S5	-458.8±20.6
	S6	-368.8±16.5
Unión de Corrientes	S7	-308.8±106.2
	S8	-452.9±2.5
	S9	-377.2±34
	S10	-393.7±16
	S11	-358.3±91.8
	S12	-422.2±14.8

Figura. Variación del Potencial Óxido Reducción en agua intersticial del ecosistema de manglar (S=Sitio, Prueba Tukey  $p < 0.05$ ,  $\pm$  error estándar).

## Atributos estructurales del ecosistema de manglar





Los atributos estructurales del ecosistema de manglar registraron densidades de hasta 3,861 árboles por hectárea, con alturas promedio de 10.2 m en Palma Grande y 9.9 m en Unión de Corrientes sin diferencias significativas ( $N=557$   $F=0.7$   $p=0.63$ ) entre los sitios monitoreados de las dos localidades (Palma Grande y Unión de Corrientes). En relación al DAP se registraron los mayores valores en el sitio 1 de Palma grande con  $11.6 \pm 0.5$  cm y el menor en sitio 6 de Unión de Corrientes con  $5.2 \pm 0.2$  cm (Ver Fig). Las mayores áreas basales se presentaron en la especie *Laguncularia racemosa* de Palma Grande con  $12.8 \pm 1.1$  cm. Es importante mencionar que alrededor de 80% del arbolado adulto se encontraba quebrado o caído sobre suelo, derivado de impacto del Huracán Roslyn en el año 2022. Además, en el sitio 5 no se logró medir la estructura debido a la alta mortalidad por la presencia de la epífita Tripa de Zopilote que cubre casi en su totalidad el manglar de todos los estratos arbóreos, ocasionando baja cobertura del manglar.

Tabla. Atributos estructurales del manglar en cada localidad.

Localidad	Especie	Abundancia (100m <sup>2</sup> )	Densidad (ha)	Altura	DAP (cm)	Area Basal (ha)
Palma Grande	Ag	2	33	7.5±1	5.4±1.1	6.2±2.1
	Rm	182	2033	11.5±0.4	7.7±0.5	17±2.9
	Lr	100	1067	11.6±0.8	7.6±0.3	12.8±1.1
Unión de Corrientes	Ag	91	1517	13.3±0.7	4.4±0.3	3.97±0.53
	Rm	126	2100	8.9±0.5	5.9±0.5	6.59±0.69
	Lr	56	933	7.6±0.3	5.2±0.2	5.73±0.45

DAP: Diámetro a la altura del pecho. *Rm*: *Rhizophora mangle*, *Ag*: *Avicennia germinans*, *Lr*: *Laguncularia racemosa*, ( $\pm$  error estándar).



Tabla. Atributos estructurales del manglar por cada especie ( $\bar{X}$  de todos los sitios)

PALMA GRANDE			
Especie	Altura	DAP	Área Basal
Ag	7.5±1	5.4±1.1	6.2±2.1
Rm	11.5±0.4	7.7±0.5	17±2.9
Lr	11.6±0.8	7.6±0.3	12.8±1.1
UNIÓN DE CORRIENTES			
Especie	Altura	DAP	Área Basal
Ag	13.3±0.7	4.4±0.3	3.97±0.53
Rm	8.9±0.5	5.9±0.5	6.59±0.69
Lr	7.6±0.3	5.2±0.2	5.73±0.45

DAP= Diámetro a la altura del pecho (1.3 m); Rm: *Rhizophora mangle*, Ag: *Avicennia germinans*, Lr: *Laguncularia racemosa*, (± error estándar).

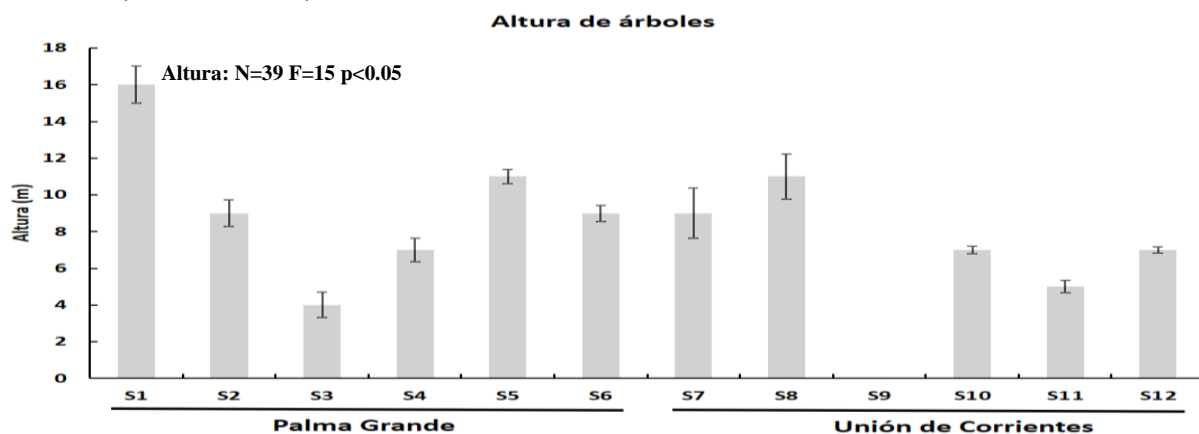


Figura. Altura de árboles de manglar en sitios de monitoreo

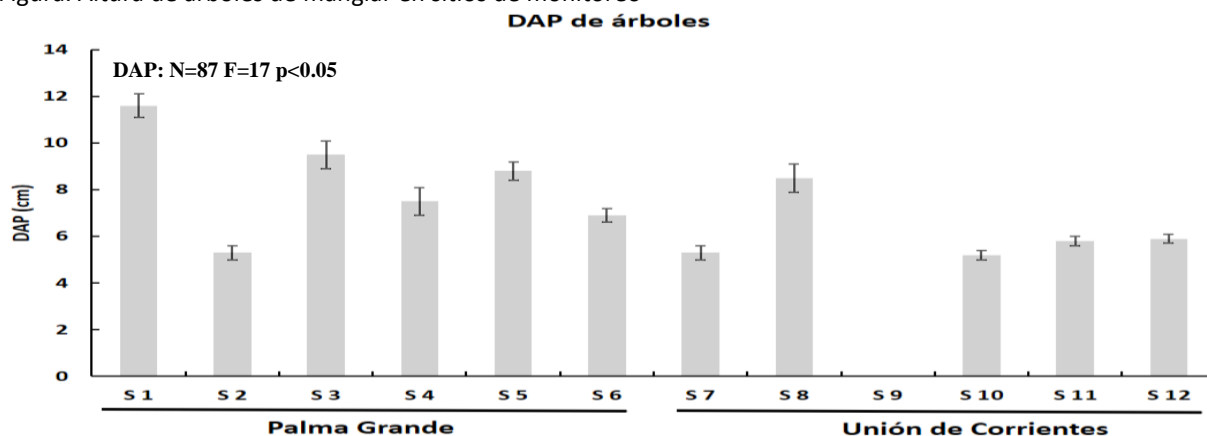


Figura. Diámetro a la altura del pecho del árbol. (S=Sitio, Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).



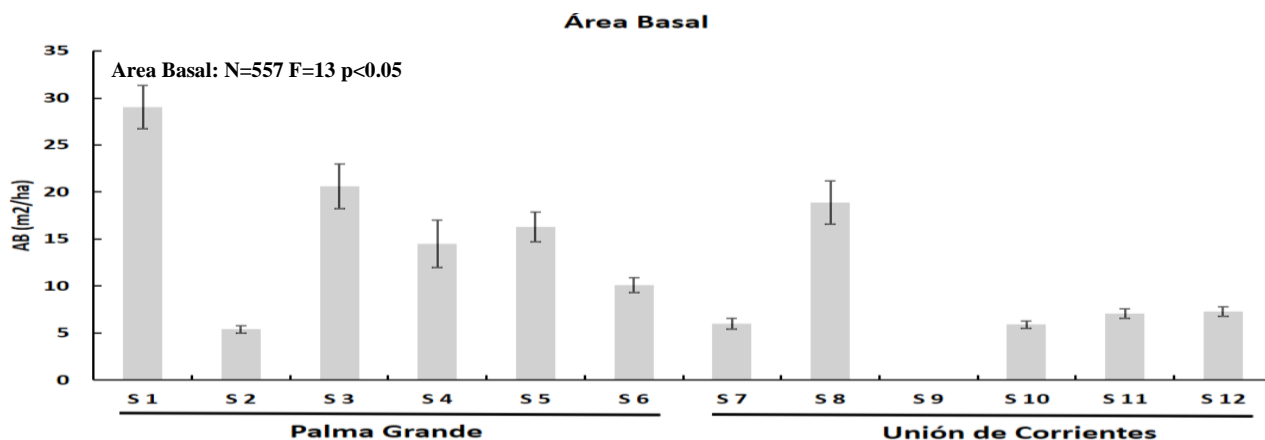


Figura. Área basal del manglar (m<sup>2</sup>/ha). (S=Sitio, Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).

### Características de neumatóforos del manglar

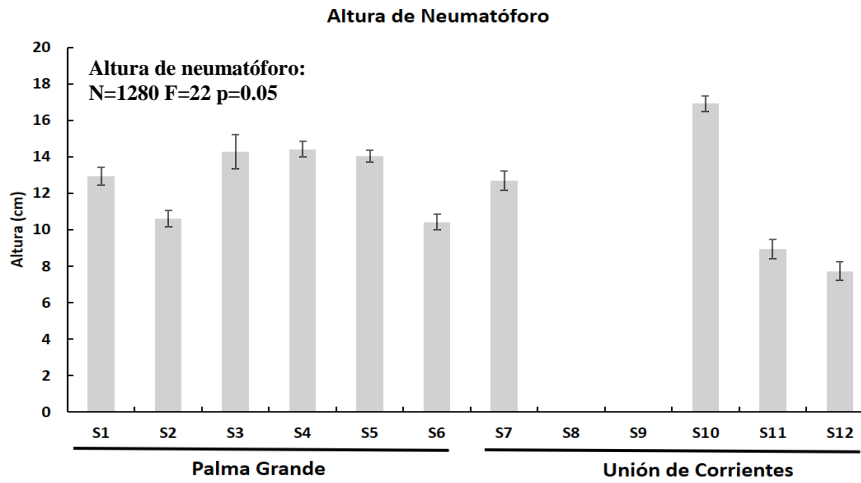
Se midieron un total de 1180 neumatóforos de los diferentes sitios de monitoreo. La densidad de neumatóforos registró una alta variación desde valores de 56 neumatóforos por metro cuadrado, hasta 632 neumatóforos por metro cuadrado, derivado del tipo de manglar que se presenta, ya que la presencia de *Avicennia germinans* aumenta el número de neumatóforos, además, *Laguncularia racemosa* desarrolla neumatóforos en menor cantidad. No se registraron neumatóforos en el sitio 8 y 9 por ausencia de la especie *Avicennia germinans* en los cuadrantes de monitoreo, además, en el sitio 9 no se registró neumatóforos por la degradación ocasionada por la especie Tripa de zopilote. Las alturas de neumatóforos presentaron alta variación entre 8±0.51 y 17±0.43 cm sin diferencias entre sitios, esto debido a que *A. germinans* desarrolla alta densidad de neumatóforos con alturas que responden al patrón de inundación (Hidroperíodo), en contraste con *L. racemosa* que desarrolla neumatóforos pequeños que pueden quedar sumergidos en temporada de inundación; los datos demuestran alto patrón de inundación en temporada de lluvias en los sitios 3 al 5 de Palma Grande y sitio 10 de Unión de Corrientes. La biomasa de neumatóforos registró alta variación debido a que depende directamente de la densidad y la altura del neumatóforo, con valores desde 60±10 hasta 1575±263 neumatóforos por cada metro cuadrado. La mayor densidad, biomasa y altura de neumatóforos se correlaciona positivamente con el patrón de inundación y la densidad de árboles de mangle (Ag y Lr) (Dahdouh-Guebas et al., 2007 y Toma et al., 1991).

	Sitio	Densidad m2
Palma Grande	1	240
	2	186
	3	300
	4	430
	5	142
	6	194
Unión de Corrientes	7	106
	8	
	9	
	10	632
	11	74
	12	56

Tabla. Densidad de neumatóforos en sitios de monitoreo (m<sup>2</sup>)

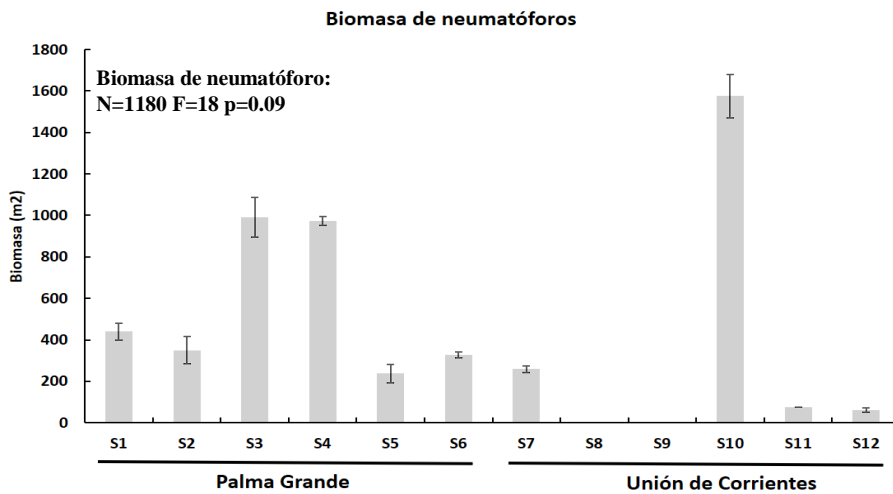






	Sitio	Altura (cm)
Palma Grande	S1	13±0.48
	S2	11±0.44
	S3	14±0.92
	S4	14±0.43
	S5	14±0.32
	S6	10±0.43
Unión de Corrientes	S7	13±0.54
	S8	
	S9	
	S10	17±0.43
	S11	9±0.53
	S12	8±0.51

Figura. Altura de neumatóforos en sitios de monitoreo (Prueba Tukey p<0.05, ± error estándar).



	Sitio	Biomasa m²
Palma Grande	S1	439±41
	S2	349±66
	S3	990±95
	S4	972±22
	S5	238±45
	S6	328±14
Unión de Corrientes	S7	259±15
	S8	0±0
	S9	0±0
	S10	1575±263
	S11	74±0
	S12	60±10

Figura. Biomasa de neumatóforos en sitios de monitoreo



## Stock de hojarasca sobre suelo del ecosistema de manglar

El componente de hojarasca sobre suelo, presentó valores de hasta 1623 g/m<sup>2</sup> en el sitio 11 de Palma Grande, lo que demuestra alta productividad primaria asociado a tipo de bosque y microtopografía tipo cuenca que retiene la hojarasca en suelo para su degradación *in situ*; además, se registraron valores mínimos de 934 g/m<sup>2</sup> en sitio 9 de Unión de Corrientes, que puede ser atribuido a los efectos de la plaga de la Tripa de Zopilote que causa mortalidad y baja cobertura de la vegetación de mangle. Los componentes Hoja de *Rhizophora mangle* y maderas y ramas fueron los que más aportaron a la biomasa de la hojarasca con 107 y 252 g/m<sup>2</sup> respectivamente en promedio. Es importante mencionar que el componente hojarasca aumenta o disminuye dependiendo de la temporada estacional, con la más alta productividad primaria en base a hojarasca en época de lluvias.

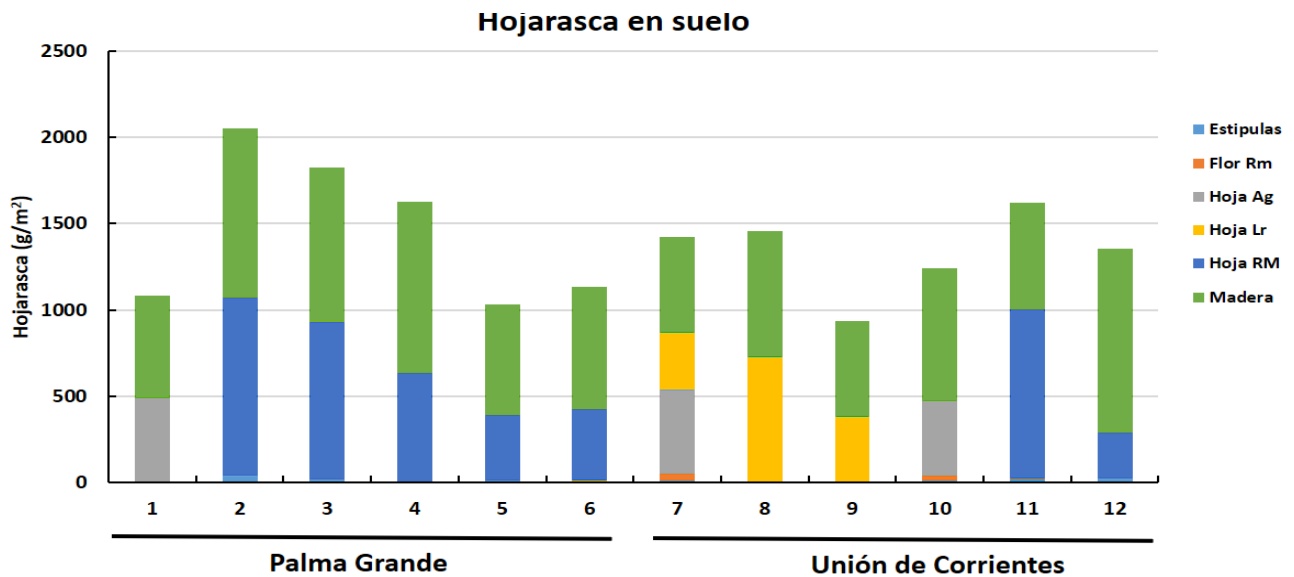


Figura. Stock de hojarasca sobre el suelo del ecosistema de manglar por cada componente



## Biomasa de raíces subterráneas

La biomasa de raíces subterráneas (Debajo de suelo) registró alta cantidad a los 45 cm de profundidad con valor promedio en todos los sitios de monitoreo con  $8286 \pm 1611 \text{ g/m}^2$ , con valores totales promedio desde  $5614 \pm 1156 \text{ g/m}^2$  en sitio 11 y hasta  $10045 \pm 12515$  en sitio 12 de Unión de Corrientes. La clase diamétrica que más aporta a la producción subterránea es las raíces finas con  $3539 \pm 806 \text{ g/m}^2$ , después las raíces grandes con  $3517 \pm 630 \text{ g/m}^2$  y en menor cantidad de raíces medianas con  $1231 \pm 174 \text{ g/m}^2$ . La distribución de las raíces por estrato de profundidad se presentó que en el primer estrato (0-15 cm) se encuentran la mayor cantidad de raíces con  $3175 \text{ g/m}^2$  seguido por el segundo estrato (15-30 cm) con  $2734 \text{ g/m}^2$  y por último en el tercer estrato (30-45 cm) con  $2377 \text{ g/m}^2$ . Las raíces de manglar son superficiales y se encuentra la mayor cantidad en los primeros 45 centímetros de profundidad y son las que están directamente en contacto con el agua intersticial, por ello se mide en ese estrato la físico química del agua, ya que esos factores inciden en el desarrollo estructural y de productividad primaria del ecosistema de manglar. Los contenidos de Necromasa total (los tres estratos) registró valores mínimos de  $1563 \text{ g/m}^2$  en sitio 6 de Palma Grande y máximos de  $3154 \text{ g/m}^2$  en sitio 11 de Unión de Corrientes.

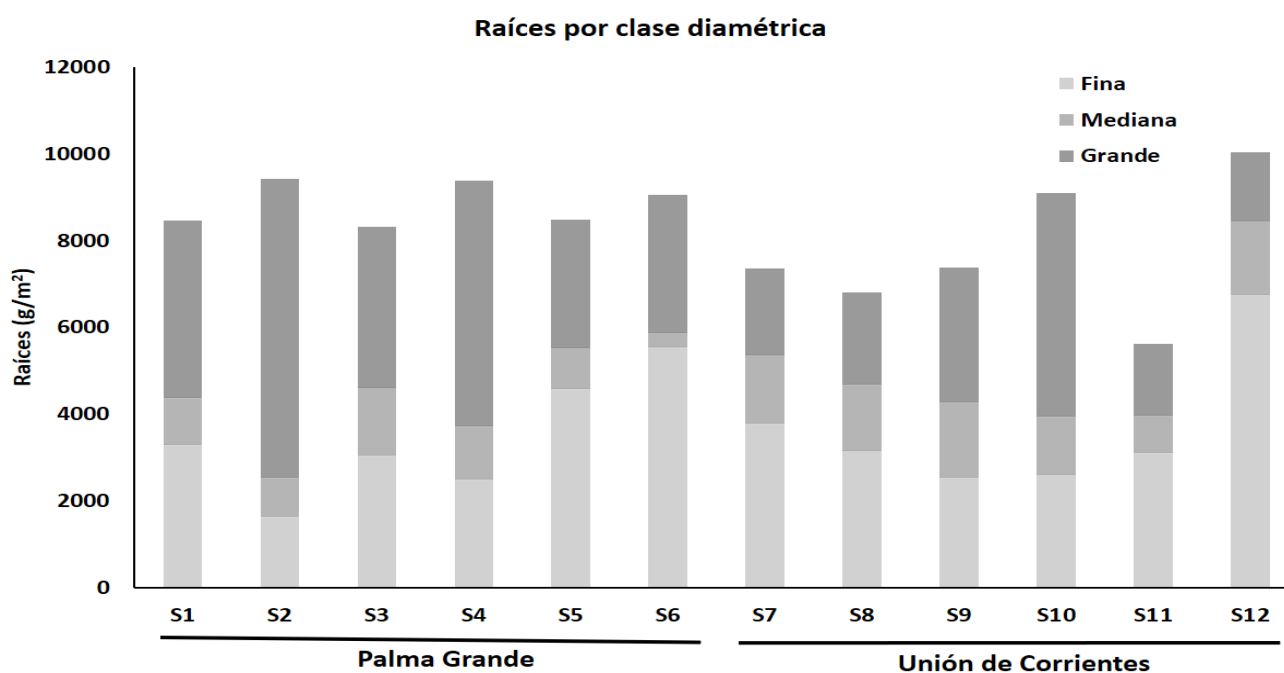


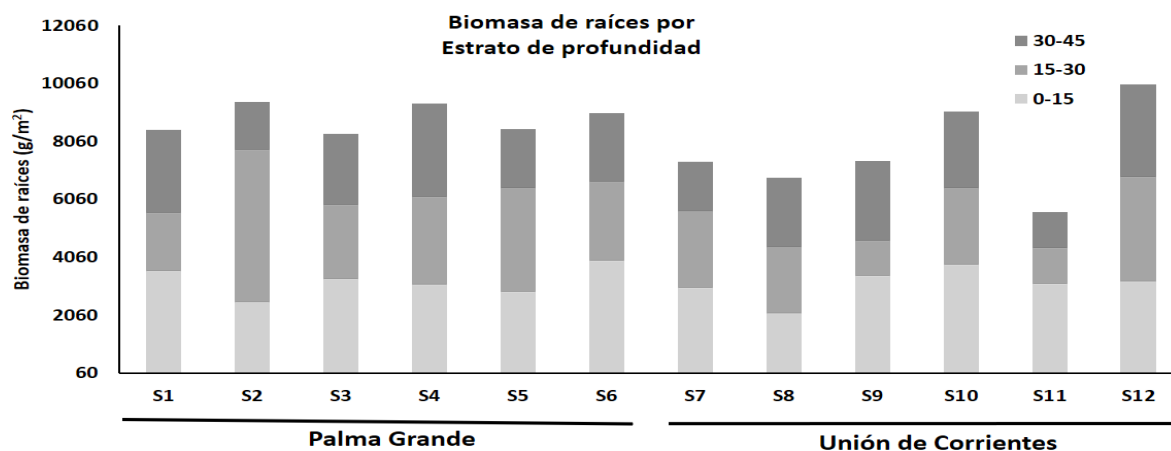
Figura. Raíces subterráneas en cada localidad por clases diamétricas (S=sitio)



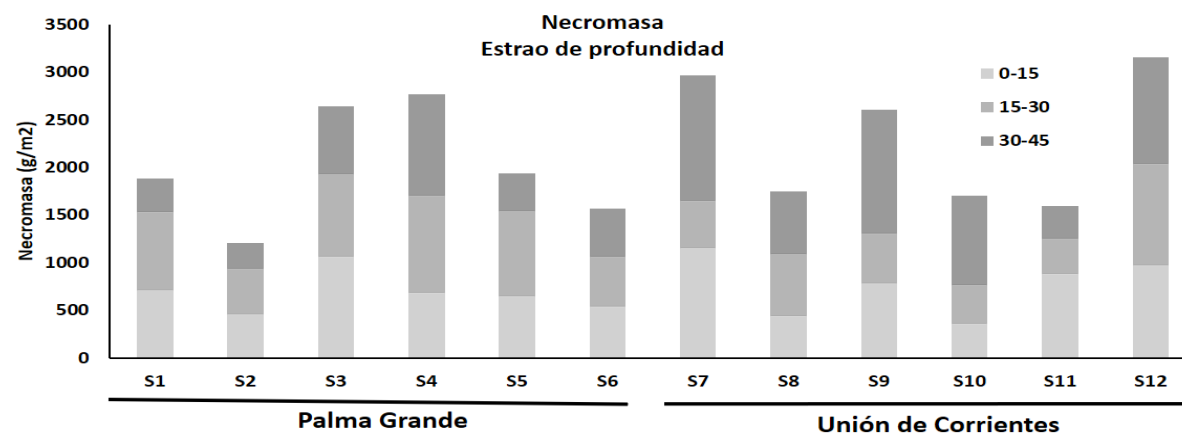


**Tabla.** Stock de hojarasca sobre el suelo del ecosistema de manglar por cada componente

	Sitio	Biomasa de raíces subterráneas (g/m <sup>2</sup> a 45 cm de profundidad)			TOTAL
		Fina	Mediana	Grande	
Palma Grande	S1	3295±1088	1079±225	4094±445	8468±1758
	S2	1620±223	904±204	6910±647	9434±1073
	S3	3032±606	1565±199	3720±886	8317±1692
	S4	2484±738	1224±158	5673±900	9381±1795
	S5	4574±634	943±243	2975±218	8493±1096
	S6	5531±842	330±50	3191±843	9052±1735
Unión de Corrientes	S7	3778±1183	1578±78	1995±625	7352±1886
	S8	3144±1186	1538±183	2126±777	6808±2146
	S9	2539±996	1725±198	3113±965	7378±2159
	S10	2597±866	1348±89	5147±665	9092±1620
	S11	3112±620	849±247	1653±289	5614±1156
	S12	6756±693	1683±216	1606±306	10045±1215



**Figura.** Raíces subterráneas en cada localidad por estrato de profundidad (S=sitio)



**Figura.** Contenidos de Necromasa por estrato de profundidad (S=sitio)



## Carbono del árbol de mangle arriba de suelo

El carbono contenido en el componente árbol (Fuste, madera, ramas) presentó valores desde  $100 \pm 3.8$  hasta  $384 \pm 22.3$  toneladas de carbono por hectárea, el cual está muy relacionado a los valores de densidad arbórea y áreas basales del manglar. En relación al aporte por cada una de las especies se registró el mayor aporte por *Rhizophora mangle* con  $84.35 \pm 6.6$  toneladas por hectárea, con un sumatorio del promedio de las tres especies de  $206.5 \pm 14.6$  Ton/ha.

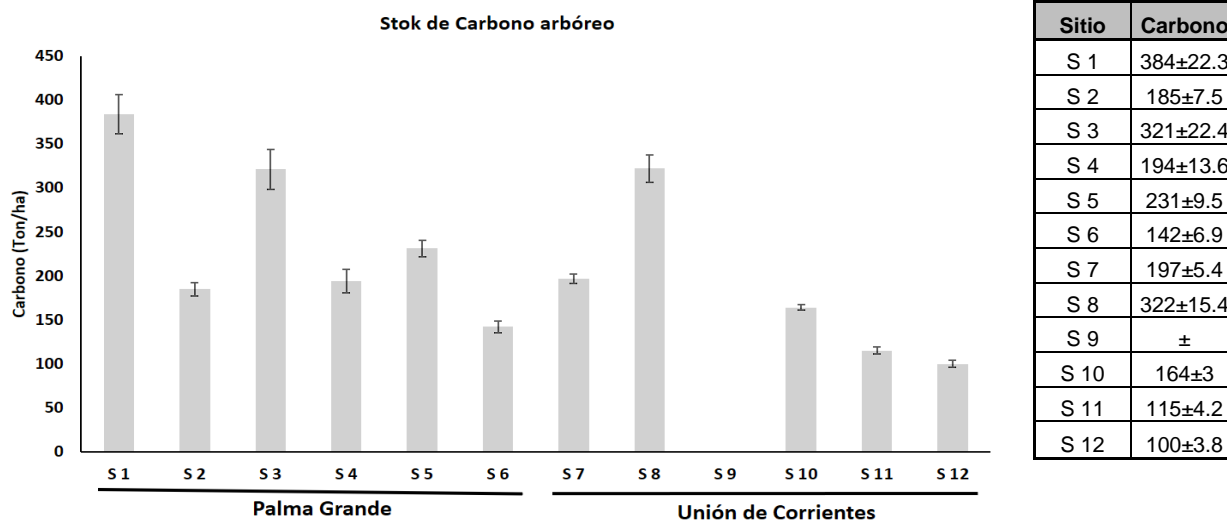


Figura. Stock de carbono del árbol de mangle en relación área basal en sitios de monitoreo. (S: sitio, ± error estándar)

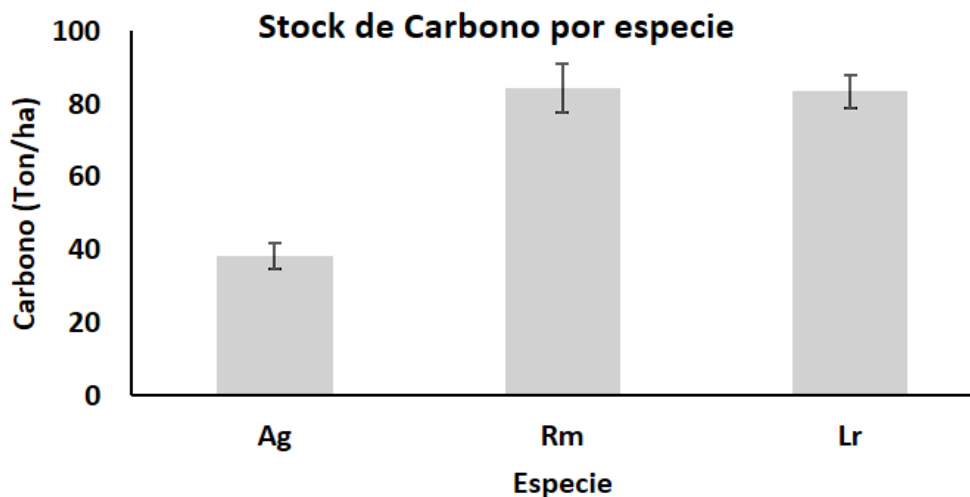


Figura. Stock de carbono del manglar por especie en relación a la biomasa en sitios de monitoreo. *Rm*: *Rhizophora mangle*, *Ag*: *Avicennia germinans*, *Lr*: *Laguncularia racemosa*, S: sitio, (± error estándar). Unidades Ton C<sub>org</sub>/ha





## Stock de carbono del manglar en relación a la biomasa

Los stocks de carbono en relación a la biomasa en sitios de monitoreo presentaron valores totales promedio de  $247.3 \pm 17.84$  Ton  $C_{org}/ha$ , el componente que aportó al stock de carbono fue los arboles (fustes estructurales) con  $214 \pm 10.3$  Ton  $C_{org}/ha$ . El sitio que más carbono presenta relacionado a la biomasa es el sitio 1 de Palma Grande con  $433.05 \pm 31.14$  Ton  $C_{org}/ha$  y el de menor carbono es el sitio 9 con  $46 \pm 10.73$  Ton  $C_{org}/ha$ , esto derivado de que es un sitio impactado por Tripa de Zopilote y que requiere actividades de manejo para disminuir la planta epífita y aumentar la cobertura y desarrollo estructural del manglar.

**Tabla.** Stock de carbono en relación a la biomasa de los componentes del Manglar (Ton  $C_{org}/ha$ )

Sitio	Arboles	Hojarasca	Neumatóforo	Raíces	Necromasa	Total
S 1	384±22.3	4.88	1.71±0.16	33.03±6.86	9.43±1.82	433.05±31.14
S 2	185±7.5	9.24	1.36±0.26	36.79±4.18	6.02±2.11	238.41±14.05
S 3	321±22.4	8.21	3.86±0.37	32.44±6.6	13.2±1.76	378.71±31.13
S 4	194±13.6	7.33	3.79±0.08	36.59±7	13.86±2.04	255.57±22.72
S 5	231±9.5	4.64	0.93±0.18	33.12±4.27	9.71±1.98	279.4±15.93
S 6	142±6.9	5.1	1.28±0.05	35.3±6.77	7.82±2.7	191.5±16.42
S 7	197±5.4	6.4	1.01±0.06	28.67±7.36	14.81±1.52	247.89±14.34
S 8	322±15.4	6.56	0±0	26.55±8.37	8.72±1.51	363.83±25.28
S 9		4.2	0±0	28.77±8.42	13.03±2.31	46±10.73
S 10	164±3	5.59	6.14±0.4	35.46±6.32	8.52±1.96	219.71±11.68
S 11	115±4.2	7.3	0.29±0	21.89±4.51	7.96±1.54	152.44±10.25
S 12	100±3.8	6.09	0.24±0.04	39.18±4.74	15.77±2.48	161.28±11.06

(S: sitio, ± error estándar)





## Carbono en Sedimento

Es importante mencionar que no se incluye el carbono en suelo, el cual, es muy importante por sus altos contenidos de acumulaciones de muchos años de desarrollo del ecosistema de manglar, se estima que en suelos se encuentran las reservas más altas del ecosistema de hasta 3 o 4 veces mayores a los stocks en la biomasa del bosque. Se colectaron una muestra por cada unidad de monitoreo. Las muestras para la determinación de carbono en sedimento de acuerdo a la metodología estandarizada de Howard et al. (2014), cada núcleo se dividió por profundidad de 0 a 15 cm, 15 a 30 cm, 30 a 50 cm y 50 a 100 cm; Las muestras se recogieron utilizando un tubo Falcon de 50 ml. Las muestras se encuentran en el laboratorio de Ecología de Zonas Costeras en estado congelado para su posterior análisis, con un total de 96 muestras.





## CONCLUSIONES

En conclusión, los stocks de carbono en relación a la biomasa en sitios de monitoreo presentaron valores totales promedio de  $247.3 \pm 17.84$  Ton  $C_{org}/ha$ , los contenidos totales promedio por localidad registró que en la Localidad de Palma Grande y en Unión de corrientes fueron de  $296.11 \pm 21.9$  y  $198.525 \pm 13.89$   $C_{org}/ha$  respectivamente. Es importante mencionar que no se incluye el carbono en suelo, el cual, es muy importante por sus altos contenidos de acumulaciones de muchos años de desarrollo del ecosistema de manglar, se estima que en suelos se encuentran las reservas más altas del ecosistema de hasta 3 o 4 veces mayores a los stocks en la biomasa del bosque.

Las dos localidades de estudio (El Palmar y Unión de Corrientes) fueron afectados por el Huracán "Roslyn" de categoría 3 en la escala Saffir-Simpson tocó tierra el día 23 de octubre a las 06:20 horas (tiempo del centro de México) en las inmediaciones de la localidad de Santa Cruz, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, aproximadamente a 90 km al noroeste de Tepic, Nayarit con vientos máximos sostenidos de 195 km/h y rachas de 240 km/h ([www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)). El Huracán ocasionó derribo de hasta el 90% de los árboles del ecosistema de manglar. La apertura del dosel creó condiciones para la sucesión primaria y actualmente se cuenta con el desarrollo de plántulas que logran su desarrollo a su estado recluta-juvenil.

Las estimaciones de carbono se realizaron en relación a la biomasa del manglar en sus principales componentes (árboles, hojarasca, neumatóforos, raíces, necromasa), sin embargo, por el estado actual del ecosistema por los efectos negativos del huracán en la estructura del manglar, también están considerando los árboles caídos y quebrados como un stock de carbono que actualmente se encuentra en proceso de degradación natural e integración a la dinámica de nutrientes y almacenamiento.

El bajo contenido de carbono almacenado en relación a la biomasa en Unión de Corrientes es atribuido a la presencia de la epífita Tripa de Zopilote que está afectando directamente las poblaciones de manglar, en algunos sitios la afectación es del 100% de los organismos de manglar con alta mortalidad visible y baja cobertura que genera aumento de la temperatura en el suelo y alta evaporación, con consecuencias de acumulación y aumento de los niveles de salinidad superficial e intersticial. El sitio 9 de Unión de corrientes tiene alta afectación por *Cissus verticillata*, con stock de carbono bajo de  $46 \pm 10.7$   $C_{org}/ha$ .





## RECOMENDACIONES

Derivado de las afectaciones del Huracán Roslyn en el año 2022, se registró un alto porcentaje de árboles caídos y quebrados de hasta el 90% del arbolado adulto. Se recomienda realizar limpieza de canales, venarios naturales que rehabiliten la hidrología del humedal para evitar desecación de zonas de manglar. Remoción de las acumulaciones de árboles muertos, madera, ramas y sedimentación por arrastre provocados por el huracán.

La presencia de la especie Tripa de Zopilote (*Cissus verticillata*) en altas densidades que se clasifica como especie dominante-plaga está afectando al ecosistema de manglar, con alta mortalidad provocando la apertura del dosel, provocando desecación del suelo, alta evaporación y acumulaciones de sales en el suelo (Superficial e intersticial) como se identificó en el sitio 9 de Unión de Corrientes. Disminuye los almacenes de carbono, además, la alta salinidad inhibe la germinación y crecimiento de manglar, siendo *Avicennia germinans* la que se zonifica por su alta tolerancia a niveles de salinidad superiores a 60 UPS. Se recomienda realizar remoción de Tripa de zopilote para recuperar la estructura arbórea del manglar, además, permitir a los estratos de plántulas, reclutas y juveniles que logren desarrollarse a su estrato adulto.

Actualmente el Manglar en Marismas Nacionales (Palma Grande y Unión de Corrientes) se encuentra en proceso de recuperación del impacto del Huracán Roslyn (2022), sin embargo, la recuperación natural como proceso de sucesión ecológica tomará un tiempo estimado desde 8 a 12 años para la recuperación de los servicios ambientales del bosque. Se recomienda realizar acciones de restauración del ecosistema como:

- ✓ Limpieza de canales, remoción de materia orgánica (árboles caídos, materia orgánica, desazolve de sedimentos acumulados).
- ✓ Reforestación con especies de manglar de acuerdo a sitios de referencia adyacentes.
- ✓ Remoción con participación comunitaria de Tripa de Zopilote para disminuir las poblaciones y recuperar zonas de manglar afectado con alta mortalidad.

La Recuperación – Rehabilitación de zonas de manglar ayudará a recuperar-mejorar el estado de los servicios ambientales del bosque de manglar, tales como, aumentar los stock y almacenes de carbono azul, mayor desarrollo estructural de protección contra tormentas y huracanes, reestablecer la dinámica de nutrientes en beneficio de las cadenas tróficas propias de la fauna del ecosistema de manglar y de sistemas lagunares adyacentes (peces, crustáceos y moluscos), entre otros servicios ecológico-ambientales que presta el ecosistema al entorno natural y al ser humano.

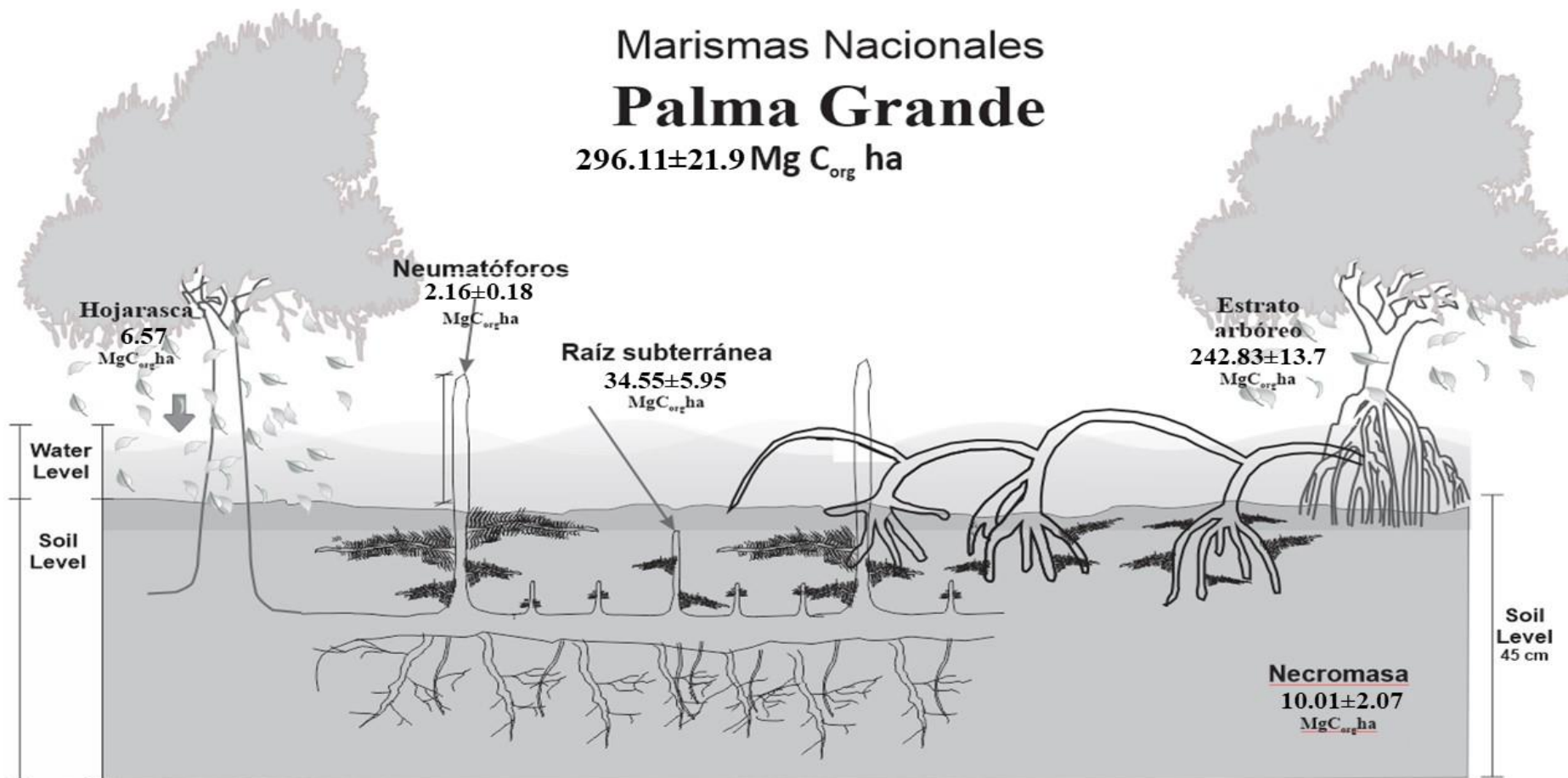






# Marismas Nacionales Palma Grande

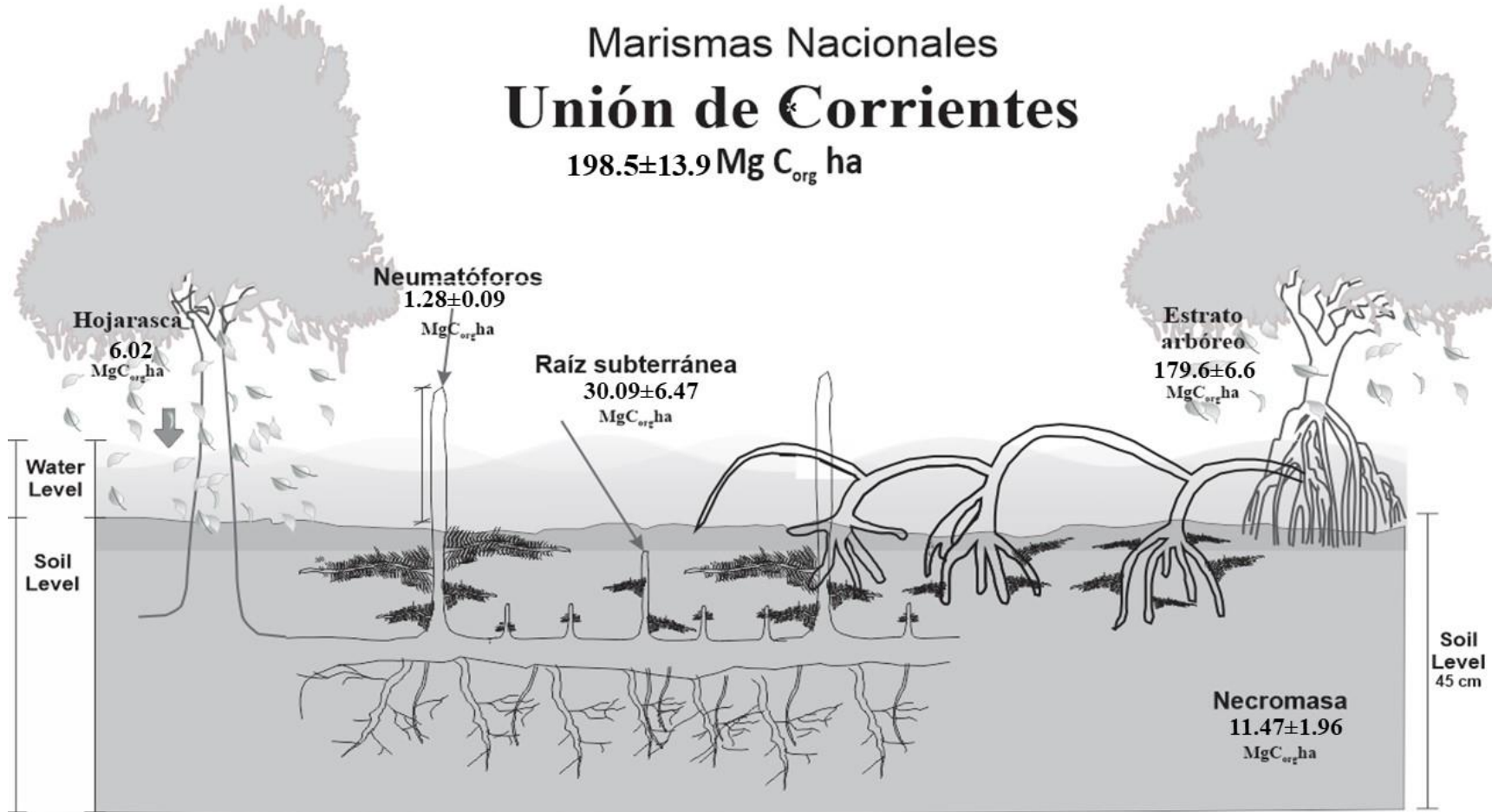
296.11±21.9 Mg C<sub>org</sub> ha





# Marismas Nacionales Unión de Corrientes

198.5±13.9 Mg C<sub>org</sub> ha



## Dr. Francisco Flores de Santiago

### Objetivo 2: Caracterización espacial histórica e hidrología.

#### Resumen ejecutivo

La presente propuesta se desarrolla en la Reserva de la Biósfera de Marismas Nacionales, Nayarit. Se pretende determinar las causas de la degradación de bosque de manglar en dos sitios ubicados en las inmediaciones de Unión de Corrientes y laguna La Mojarra. En cada área se seleccionarán estaciones representativas para extraer la secuencia histórica de datos multiespectrales (~1995 hasta 2021). En cada área se realizarán vuelos de dron en alrededor de 50 hectáreas y se instalarán sensores de nivel de agua a lo largo de un año para poder caracterizar hidrológicamente los sitios. Con los datos obtenidos se espera poder identificar histórica y recientemente las causas de la degradación de los sitios de muestreo.

#### Introducción

El complejo lagunar-estuarino Teacapán-Agua Brava-Las Haciendas (~3500 km<sup>2</sup>), mejor conocido como Marismas Nacionales, se localiza en la costa del océano Pacífico de México, entre los estados de Sinaloa y Nayarit (Valderrama-Landeros et al., 2020). Marismas Nacionales se encuentra bajo la categoría de Área Natural Protegida federal, con calidad de Reserva de la Biósfera, con decreto en 2010 y Sitio RAMSAR designado en 1995 (Figura 1). Marismas Nacionales cuenta con numerosos canales de inundación y lagunas costeras, siendo las más grandes las lagunas de Agua Brava y Agua Grande. Recibe el aporte de 12 ríos de la Sierra Madre Occidental, siendo el San Pedro y el Aconeta los únicos sin represar (Valderrama-Landeros y Flores-de-Santiago, 2019). La zona tiene dos conexiones con el Océano Pacífico –una natural en Teacapán y otra artificial, abierta entre 1974 y 1976, conocida como el Canal de Cuautla, con 15 m de profundidad y 1000 m de ancho (Serrano et al., 2020). Marismas Nacionales presenta tres especies principales de manglar: mangle blanco *Laguncularia racemosa*, mangle negro *Avicennia germinans* y mangle rojo *Rhizophora mangle*. Las especies de manglar compiten por el espacio en donde se van a desarrollar por lo que su zonación depende de la salinidad intersticial –mínima de 5 (i.e., desarrollo óptimo) y máxima de 80 ups (i.e., matorrales dispersos) –al igual que la intensidad, duración y frecuencia de la inundación (i.e., hidroperiodo) específica para cada especie.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





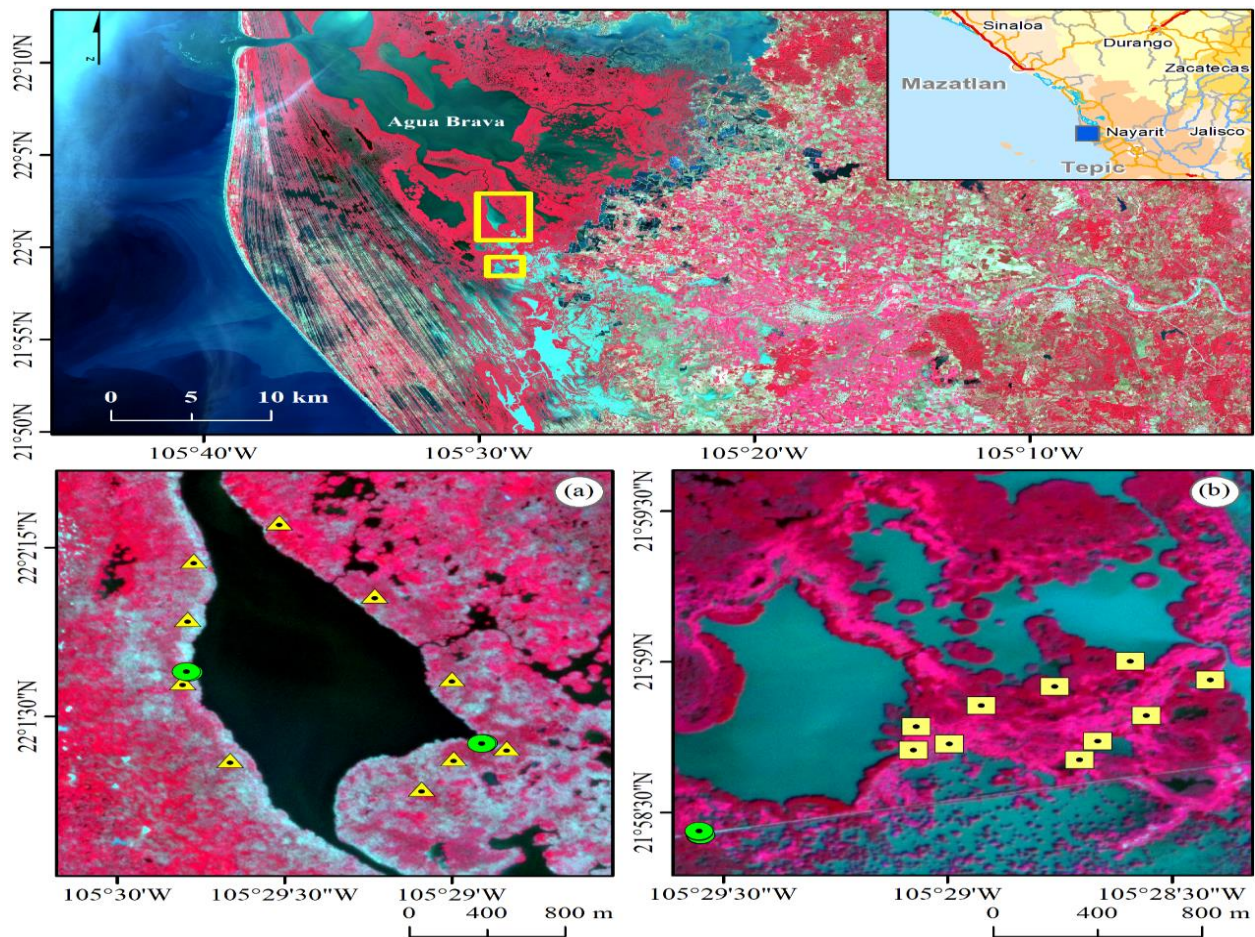


Figura. Área de estudio de la zona sur de Marismas Nacionales, Nayarit. a) Laguna La Mojarra y b) Unión de Corrientes. La imagen es una composición falso color (cercano infrarrojo, rojo, verde) del sensor Sentinel-2. Los círculos verdes indican la localización de los tubos de PVC para los sensores de nivel de agua. Los triángulos y cuadrados amarillos representan la localización de las 20 estaciones para las series fenológicas.

Actualmente existen herramientas de alto poder de procesamiento, como Google Earth Engine y sensores de mucho mayor resolución espacial y temporal. Aunada al acopio de información en grandes volúmenes, existe actualmente una gran cantidad de índices de vegetación y variables biofísicas que se pueden cuantificar desde sensores remotos de una forma sin precedentes. Cada especie de manglar se desarrolla bajo un esquema hidrológico muy específico, por lo que todas estas variables multiespectrales, a partir de sensores remotos, indiscutiblemente van a estar relacionadas con los cambios hidrológicos de la zona, los cuales dependen del hidropereodo.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



## Objetivos particulares

Analizar la variabilidad fenológica del dosel de las diferentes especies y clases fisiognómicas de manglar a lo largo de los sitios de estudio durante las últimas tres décadas (1995-2021) por medio de herramientas geomáticas de última generación.

Caracterizar el ambiente en cuanto a su hidrología por medio de sensores de nivel del agua instalados a lo largo de los sitios de muestreo.

## Estrategia metodológica

### *Series históricas*

Se van a delimitar alrededor de 20 estaciones fijas a lo largo de las zonas de estudio en varias categorías fisiognómicas dependiendo de la visita al campo en abril de 2024. En cada estación marcada con GPS, no menor a 900 m<sup>2</sup>, debido al tamaño de píxel histórico (30 m-píxel), se extraerán y procesarán datos multiespectrales (bandas), sin presencia de nubes, desde la plataforma de Big Data –Google Earth Engine, del periodo comprendido entre 1995 al 2021 de acuerdo con Valderrama-Landeros et al. (2021). Se utilizarán alrededor de 4 índices de vegetación multiespectrales (Vizcaya-Martínez et al., 2022) para observar la tendencia temporal en la intensidad del dosel de las clases representativas.

*Ortomosaicos mediante una aeronave no tripulada* - Se volará un dron Phantom-4 Advanced en zonas representativas dentro de los sitios de muestreo. El plan de vuelo se planificará en el programa MapPilot de plataforma iOS, en áreas de alrededor de 50 hectáreas-sitio, para poder adquirir el número de imágenes suficiente y poder realizar los ortomosaicos en el programa Agisoft Metashape. El plan de vuelo (altura y sobreposición lateral-longitudinal) será con base en las recomendaciones de Flores-de-Santiago et al. (2020). Las imágenes individuales se calibrarán radiométricamente con objetivos en tierra establecidos por los parámetros de la cámara.

*Hidrología* - Se instalarán sensores de nivel de agua (marca HOB0) permanentemente en zonas estratégicas dentro de las clases de manglar a lo largo de los sitios de estudio, con las recomendaciones de Flores-Verdugo et al. (2018). Las principales recomendaciones consisten en colocarlos adecuadamente (fuera de la vista) y a una profundidad suficiente para que no permanezcan en el aire durante la marea baja. Los sensores van a recopilar datos de nivel del agua en forma de presión, cada 30 minutos, a lo largo de un año (Flores-Verdugo et al., 2015).



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



## Resultados

### *Series históricas*

Se establecieron 20 estaciones de muestreo (Figura 1) con un GPS en campo (Tabla 1)

Tabla. Coordenadas para cada una de las 20 estaciones fenológicas.

Est-1 Palma	13N UTM	Est-1 Union	13N UTM
448977	2435319	449972	2430524
Est-2 Palma	13N UTM	Est-2 Union	13N UTM
448733	2435956	449982	2430669
Est-3 Palma	13N UTM	Est-3 Union	13N UTM
448759	2436475	450232	2430799
Est-4 Palma	13N UTM	Est-4 Union	13N UTM
448790	2436954	450514	2430915
Est-5 Palma	13N UTM	Est-5 Union	13N UTM
449231	2437270	450803	2431069
Est-6 Palma	13N UTM	Est-6 Union	13N UTM
449722	2436668	451110	2430955
Est-7 Palma	13N UTM	Est-7 Union	13N UTM
450120	2435984	450865	2430736
Est-8 Palma	13N UTM	Est-8 Union	13N UTM
450399	2435417	450678	2430580
Est-9 Palma	13N UTM	Est-9 Union	13N UTM
450128	2435334	450609	2430466
Est-10 Palma	13N UTM	Est-10 Union	13N UTM
449962	2435084	450110	2430563



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





Se extrajeron datos multiespectrales del 1 de enero de 1995 al 31 de diciembre de 2021 y se procesaron cuatro índices de vegetación multiespectrales:

Normalized Difference Vegetation Index

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Green Normalized Difference Vegetation Index

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{G}) / (\text{NIR} + \text{G}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Plant Senescence Reflectance Index

$$\text{PSRI} = (\text{R} - \text{G}) / \text{NIR} \quad \text{Ecuación 3}$$

Green-Red Vegetation Index

$$\text{GRVI} = (\text{G} - \text{R}) / (\text{G} + \text{R}) \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde el G, R y NIR representan la banda del verde, rojo e infrarrojo cercano, respectivamente. En la figura se presentan las series de tiempo de los índices en las diez estaciones de la laguna La Mojarra. El único índice que presenta un comportamiento diferente es el PSRI. Respecto a los otros tres índices, el comportamiento muestra una tendencia fenológica estable hasta el 31 de diciembre de 2021, con valores alto esperados para la época de lluvias y bajos durante estiaje.



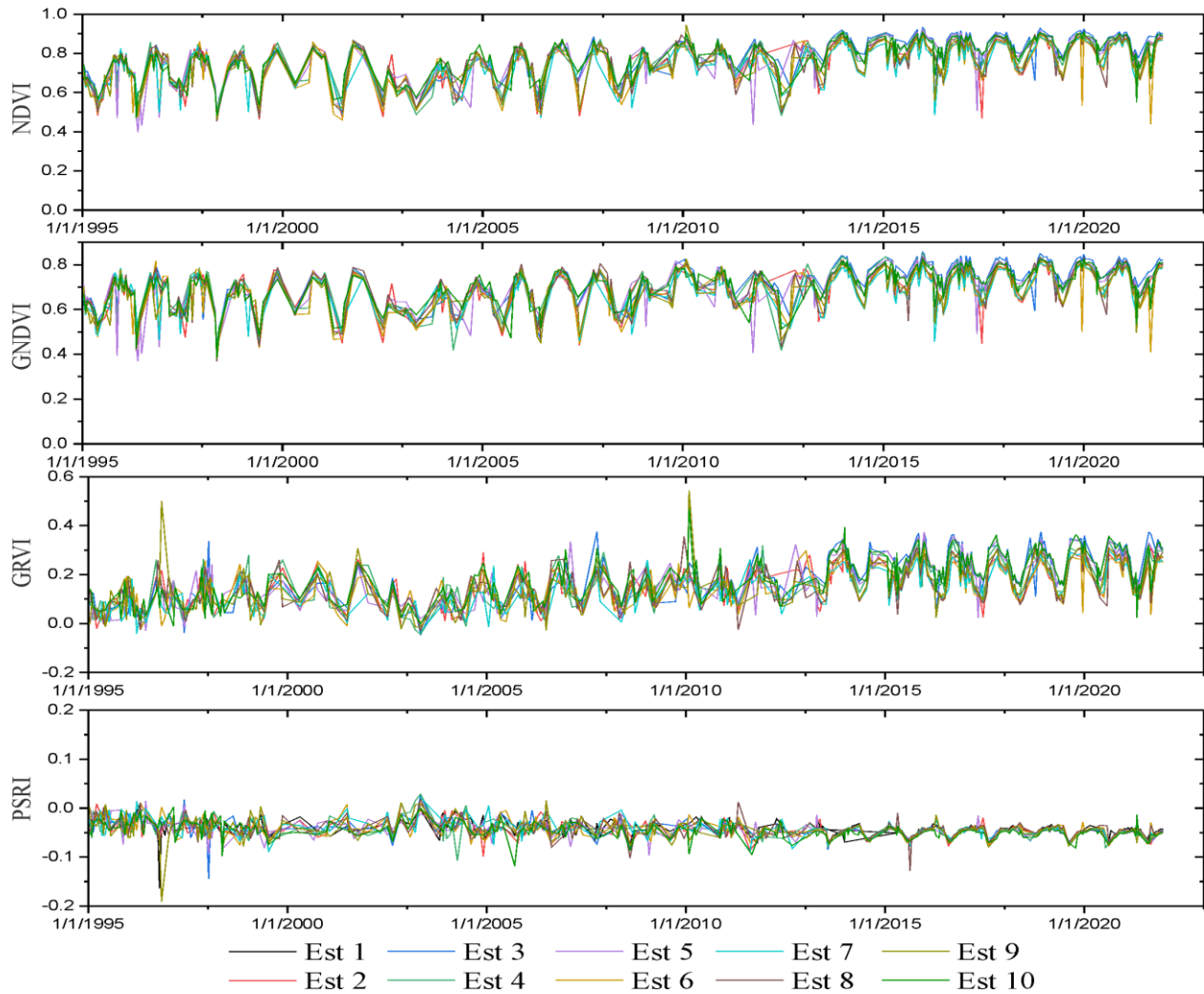


Figura. Series de tiempo fenológicas de los cuatro índices de vegetación en la laguna La Mojarra.

En la figura se presentan las series de tiempo de los índices de Unión de Corrientes. Respecto a los cuatro índices, el comportamiento muestra una tendencia fenológica estable hasta el 31 de diciembre de 2021, con valores alto esperados para la época de lluvias y bajos durante estiaje. Sin embargo, se presenta una variabilidad mayor entre las estaciones de campo. Esto probablemente debido a la presencia de la enredadera invasora *Cissus verticillata* a lo largo de las estaciones de muestreo. Además, la tendencia en los índices tiende a incrementarse a partir de enero de 2015.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



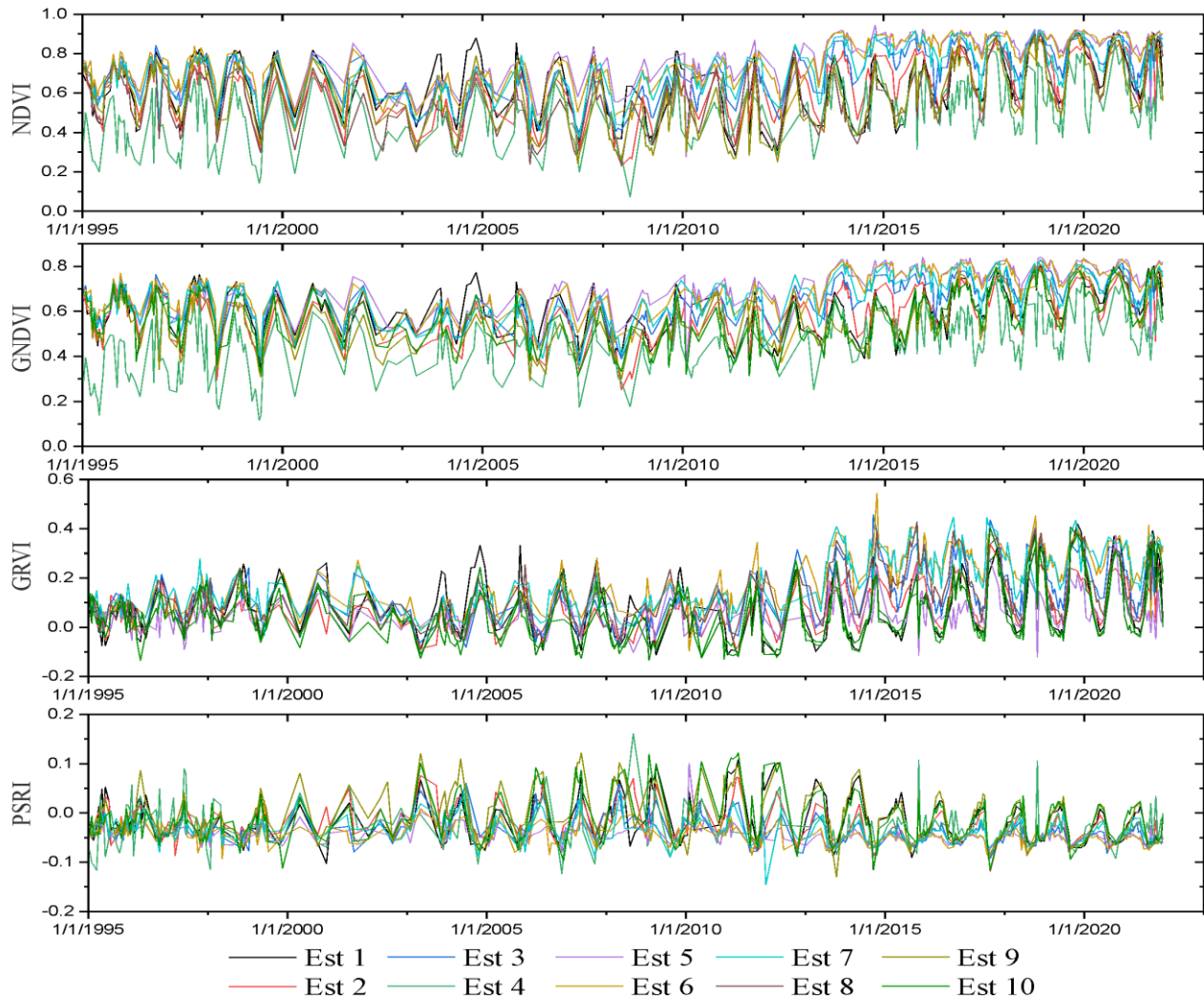


Figura 3. Series de tiempo fenológicas de los cuatro índices de vegetación en Unión de Corrientes.

Se adquirieron tres imágenes Sentinel-2, de la laguna La Mojarra y Unión de Corrientes, para complementar la serie de tiempo (Figura), correspondiente a la fecha final de la serie de tiempo (21 de diciembre de 2021), una lo más cercana al impacto del Huracán Roslyn (26 de noviembre de 2022) y una última lo más cercana a la fecha de la primera salida de campo (30 marzo de 2024).

En la Figura se aprecia una homogenización del dosel de manglar en la laguna La Mojarra en el 2021, mientras que el impacto del huracán Roslyn es claro en la imagen del 26 de noviembre de 2022. Sin embargo, se aprecia una recuperación natural del bosque de manglar dentro de la laguna en la fecha más reciente del 30 de marzo de 2024.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





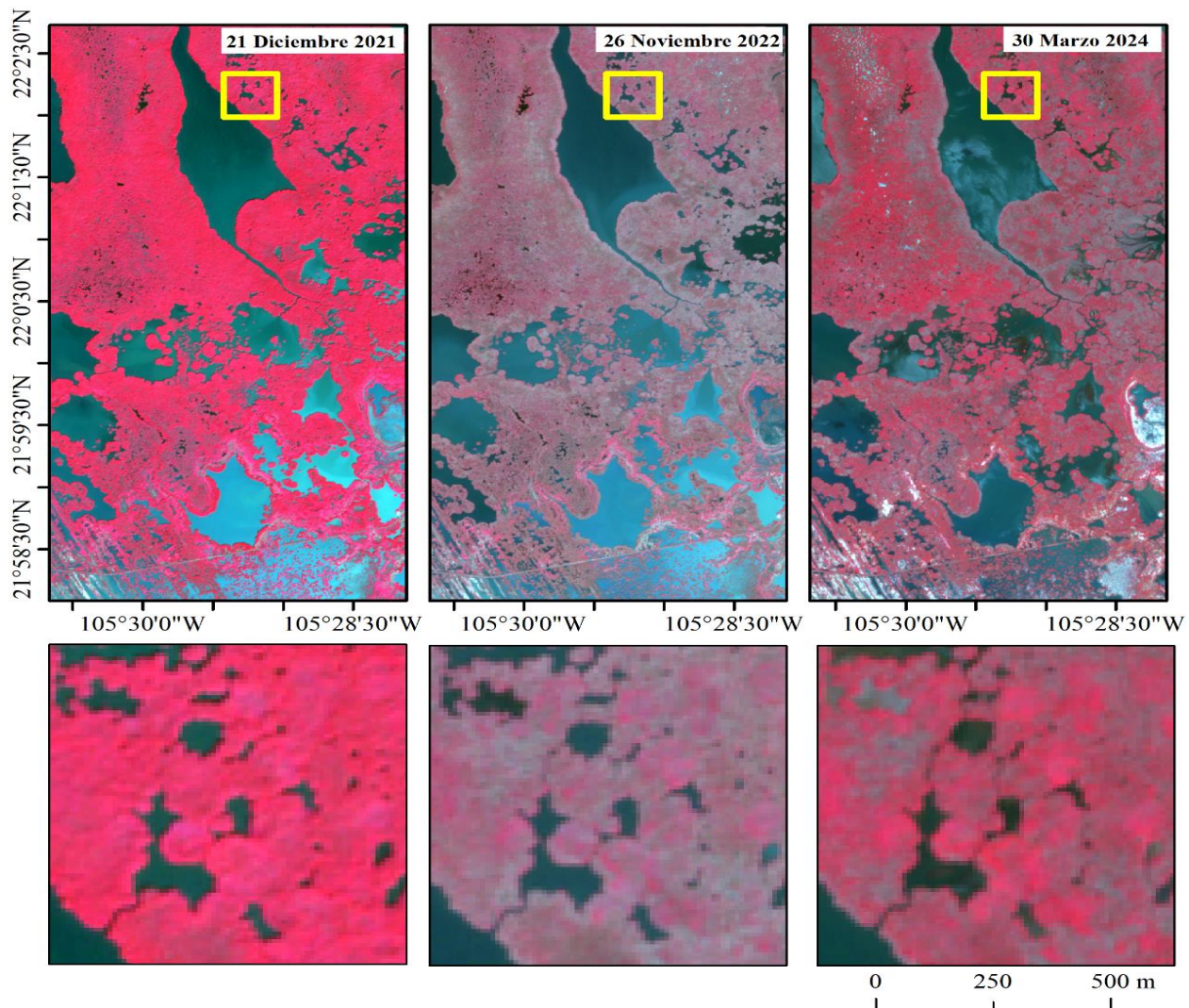


Figura. Imágenes falso color (cercano infrarrojo, rojo, verde) del sensor Sentinel-2 de la zona de estudio, Nayarit. El recuadro amarillo representa la localización de las subregiones inferiores.

Las fotografías de campo del embarcadero Los Espejos hacia la laguna La Mojarra (Figura 5) muestran algunos de los efectos del Huracán Roslyn en los árboles de manglar. Específicamente, es común encontrar árboles con las raíces completamente desprendidas y múltiples troncos en posición horizontal. Además, se aprecian relictos de árboles elevados (11 m) con presencia de hojas en el dosel.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)







Figura. Fotografías de campo en Palma Grande.

En las fotografías de campo dentro de la laguna La Mojarra (Figura) se aprecia con mayor medida los efectos adversos del impacto de los vientos fuertes provenientes del huracán Roslyn. En su mayoría, se presentan troncos de árboles muertos en posición horizontal con fustes altamente densos lo que ocasionaría una disminución en el flujo de agua hacia el manglar que se encuentran en el interior. Dada la intensidad de los vientos del huracán Roslyn, las hojas en el dosel de los manglares que sobrevivieron el impacto del huracán indicaría un proceso de recuperación natural a largo plazo.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)







Figura. Fotografías de campo de la Laguna La Mojarra, Nayarit.

*Ortomosaicos mediante una aeronave no tripulada*

Se realizaron dos vuelos de dron en aproximadamente 50 hectáreas dentro de Unión de Corrientes y laguna La Mojarra. El vuelo en Unión de Corrientes se llevó a cabo a un costado de la carretera principal, mientras que el vuelo en la laguna La Mojarra fue en una embarcación menor con motor fuera de borda (Figura 7). Ambos vuelos se realizaron a 80 m de altura sobre el nivel del suelo y con una sobreposición lateral y longitudinal entre imágenes del 75%. En ambos vuelos se emplearon aproximadamente tres baterías de litio para poder abarcar el área total. Las condiciones meteorológicas de ambos vuelos fueron favorables con baja a nula nubosidad y escaso viento.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)







Figura. Fotografías de campo referentes a los vuelos del dron en Unión de Corrientes (superior), ejemplo del programa de vuelo (medio) y en Laguna La Mojarra (inferior).

El plan de vuelo dentro de la laguna La Mojarra consistió en un polígono rectangular abarcando desde la interfase entre el manglar y el cuerpo lagunar hasta un kilómetro tierra adentro (Figura 8). El punto morado indica la localización de la embarcación donde despegó el dron, mientras que los puntos amarillos representan los vértices del polígono. Las líneas blancas indican el trayecto del vuelo que realizó el dron automáticamente.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





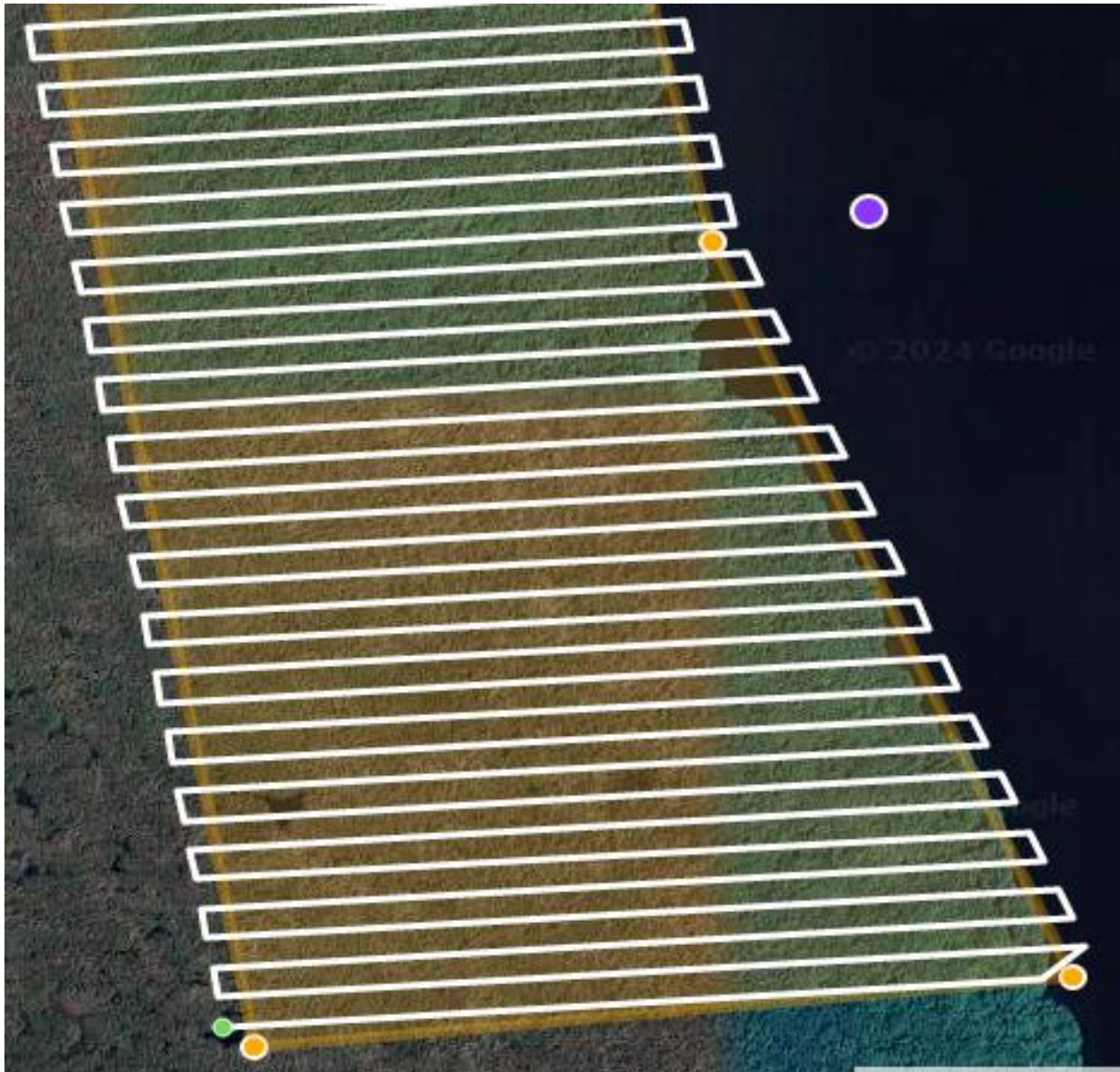


Figura. Plan de vuelo para el sitio de la laguna La Mojarra.

Se adquirieron 975 imágenes consecutivas del vuelo realizado sobre la laguna La Mojarra (Figura 9). Cada punto negro indica la posición de las imágenes tomadas con la cámara en una dirección vertical hacia el suelo. La coloración azul indica una sobreposición amplia entre imágenes (mayor a 9 imágenes) mientras que las zonas naranjas una sobreposición baja (entre 2 y 3 imágenes). Esto es esperado debido a que los límites del polígono siempre van a contener una menor cantidad de imágenes. Adicionalmente se aprecia una zona dentro del polígono donde no se pudieron capturar



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



imágenes debido a una falla menor al momento de grabar las fotos en la memoria interna del dron. Esta falla generalmente ocurre cuando la aeronave se calienta demasiado pero no afecta el producto final debido a la sobreposición generalmente amplia que se manejó durante el vuelo.

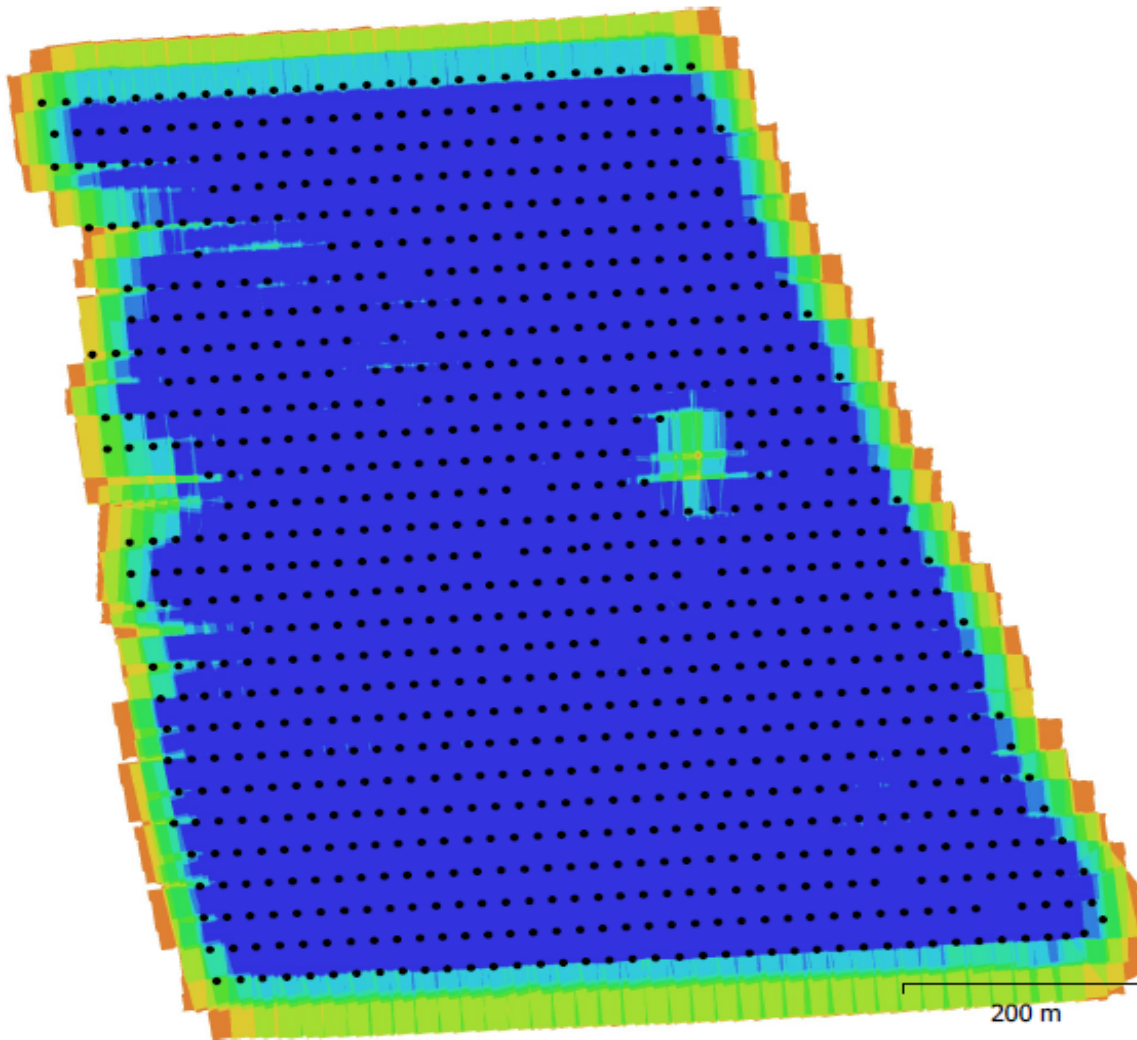


Figura. Localización y sobreposición de las 975 imágenes capturadas para la Laguna La Mojarra.

La exactitud en la ortorectificación de las imágenes (Figura 10) fue generalmente alta con errores menores a  $\pm 1\text{ m}$  (verde-amarillo). Únicamente se presentaron errores mayores a 4 m (rojo-azul) en los límites del polígono debido a la relativamente baja sobreposición entre imágenes.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



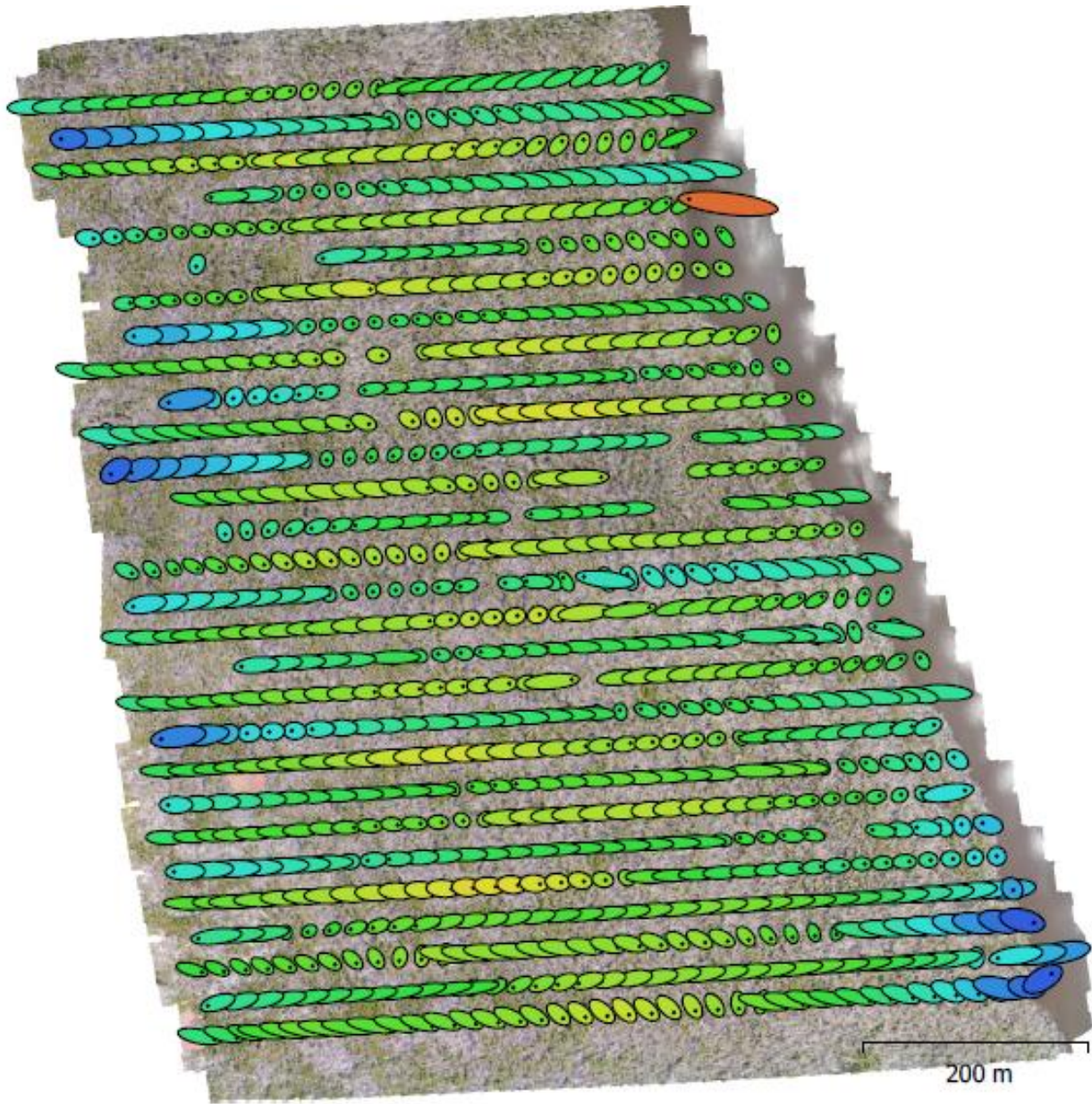


Figura. Representación visual de la exactitud de las imágenes adquirida durante el vuelo. Con base en los anterior, se pudo generar inicialmente un ortomosaico de la laguna La Mojarra con una resolución espacial de 2.1 cm/píxel (Figura).



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





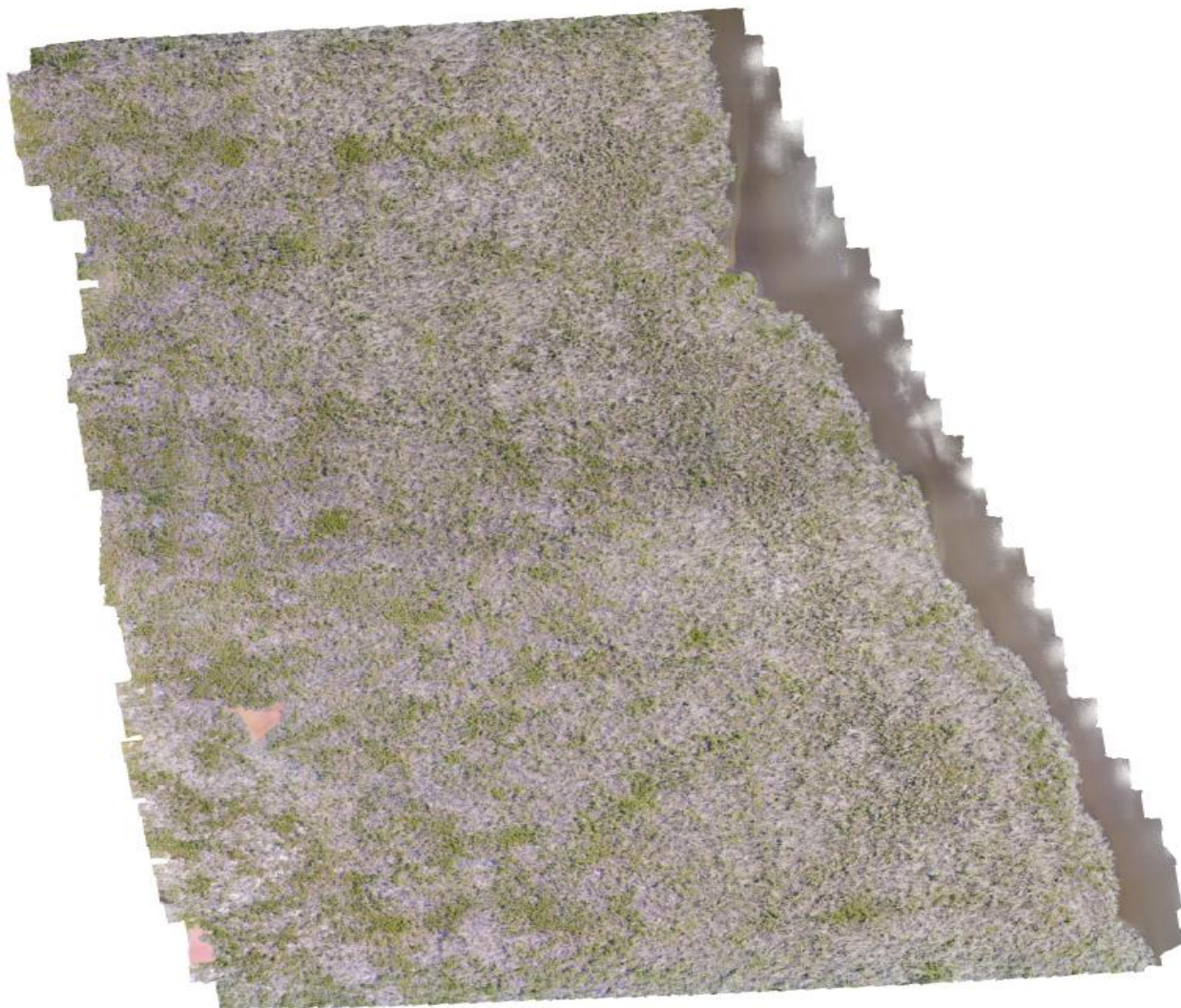


Figura. Ortomosaico generado para la Laguna La Mojarra a 2.1 cm/pixel.

Con la finalidad de cuantificar el bosque de manglar vivo, se contó la superficie de hojas verdes en el ortomosaico por medio de un índice de vegetación visible (VARI) que emplea las bandas RGB de la cámara del dron (verde-rojo/verde+rojo-azul). El índice consiste en separar aquellas superficies cafés a grises (sin vegetación) de las verdes a amarillas (con vegetación). Este índice ha sido empleado anteriormente por Vizcaya et al. (2022) para cuantificar los efectos del Huracán Willa sobre el dosel del bosque de manglar en el norte de Marismas Nacionales por medio del mismo dron.





El índice de vegetación VARI (Figura) nos indica la distribución de los pixeles en varias clases con base en una escala de grises. En términos generales, los valores negativos indican una ausencia de vegetación mientras que los positivos lo contrario.

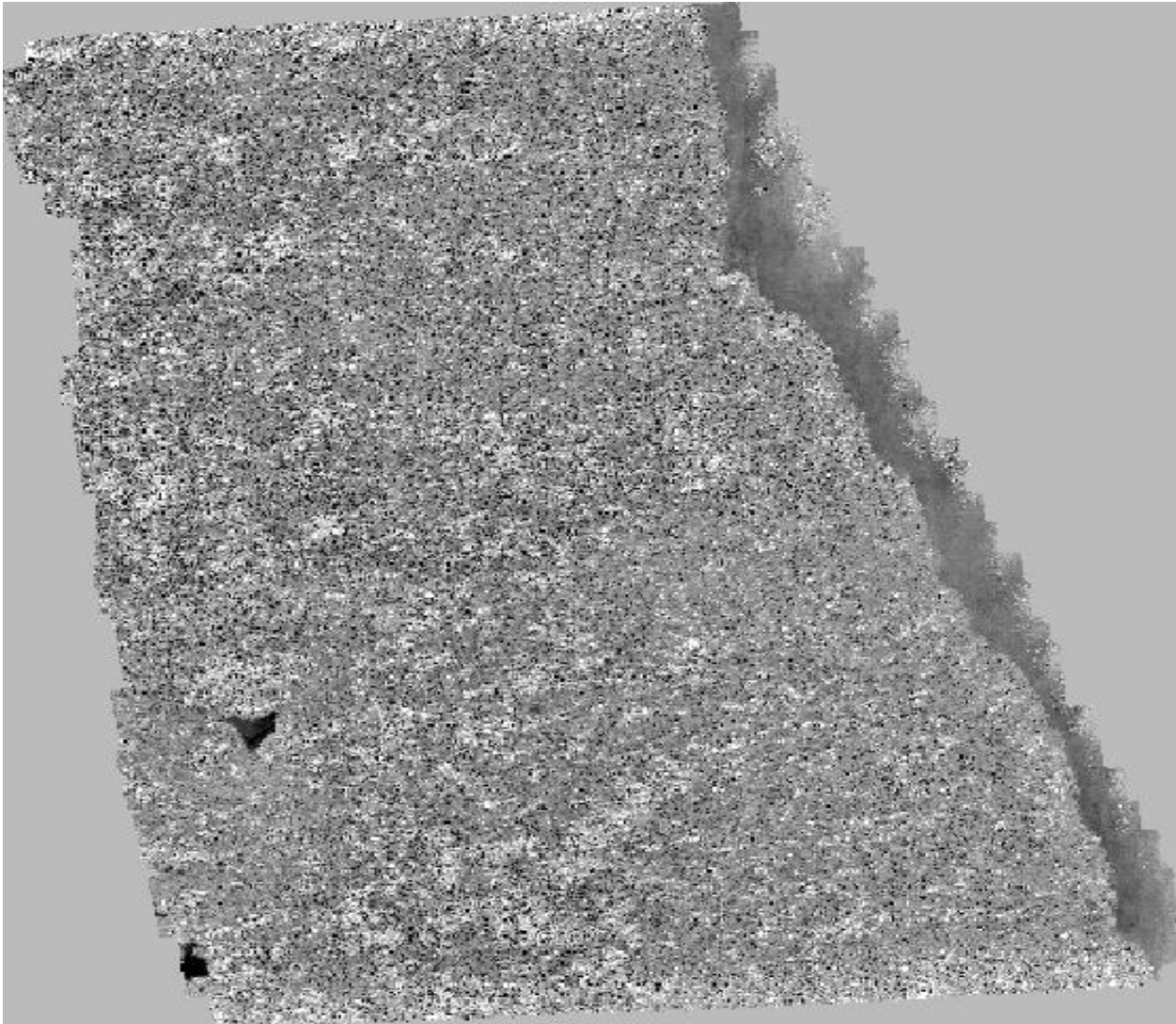


Figura. Índice de vegetación visible VARI para el ortomosaico de la Laguna La Mojarra.

En la Figura se muestra el procesamiento final del ortomosaico para la laguna La Mojarra—rotado a 270 grados para una mejor visualización. El área total mapeada fue de 68.1 hectáreas en donde se aprecian algunos relictos de los árboles que sobrevivieron al impacto del Huracán Roslyn (subfiguras). Adicionalmente se muestra una gran densidad de fustes muertos en el borde del



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



bosque de manglar posiblemente disminuyendo la circulación de agua hacia los manglares en el interior. La extracción de los pixeles de vegetación del índice VARI nos indica que actualmente se encuentran 8.9 hectáreas de dosel en recuperación el cual interesantemente se encuentra con mayor vigor en el bosque del interior. Esta situación se debe probablemente a que los manglares que estuvieron bajo el impacto directo del huracán fueron aquellos en proximidad al cuerpo de agua, mientras que los árboles que se encuentran más hacia el interior estuvieron relativamente más protegidos de los efectos del viento. Esta situación es la misma que se presentó en el norte de Marismas Nacionales en donde los árboles más afectados fueron los del mangle rojo alto al borde del cuerpo de agua. Por lo tanto, recomiendo que los esfuerzos de rehabilitación deben ser enfocados en el borde del bosque de manglar para poder mejorar la circulación de agua en dicho sitio, propiciando una recuperación natural de los árboles y aumentar el reclutamiento de propágulos al incrementar el área del suelo donde puedan llegar a desarrollarse al momento de remover la madera de los troncos y ramas muertas.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



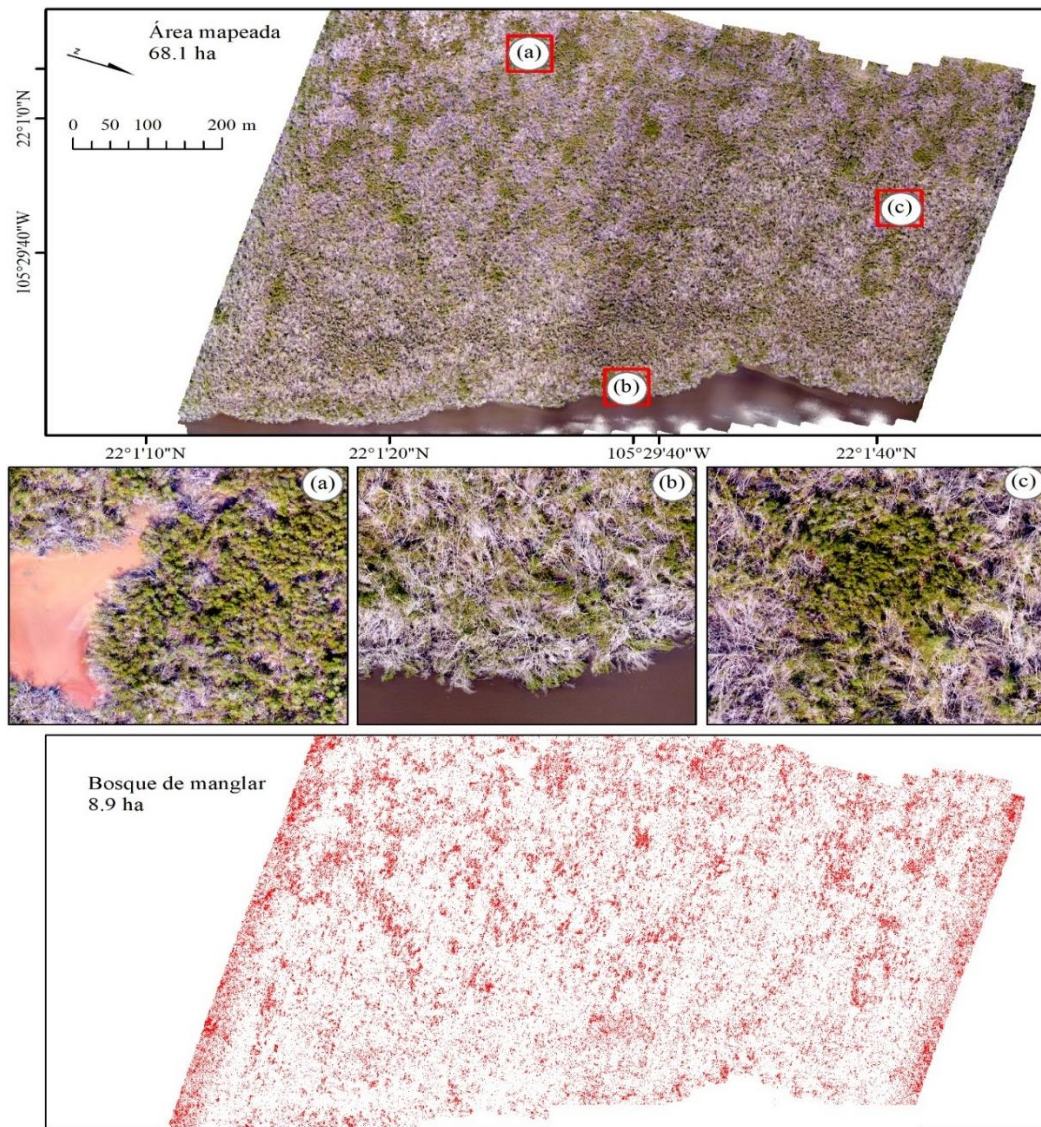


Figura. Ortomosaico de la Laguna La Mojarra georeferido (superior), tres acercamientos a zonas representativas (a-c) y el índice de vegetación únicamente mostrando la vegetación de manglar (inferior).

El plan de vuelo para Unión de Corrientes consistió en un polígono en forma semi-diamante dentro del área propuesta a rehabilitar (Figura 14). El punto morado indica la localización del sitio de despegue del dron, mientras que los puntos amarillos representan los vértices del polígono. Las líneas blancas indican el trayecto del vuelo que realizó el dron automáticamente. El punto verde representa el inicio de la colecta de imágenes del vuelo mientras que el punto rojo el final.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)







Figura 14. Plan de vuelo para el sitio de Unión de Corrientes.

Se adquirieron 694 imágenes consecutivas del vuelo realizado sobre Unión de Corrientes (Figura 15). Con la finalidad de evitar redundancia, la descripción de los símbolos es la igual a la de la Figura 9. De igual forma, la exactitud en la ortorectificación de las imágenes (Figura 16) fue generalmente alta con errores menores a  $\pm 1$  m (verde-amarillo). Únicamente se presentó una imagen con error mayor a 4 m (azul) en los límites del polígono debido probablemente a una ráfaga de viento que ocasiono una distorsión en el ángulo de captura de la imagen. Con base en lo anterior, inicialmente se logró generar un ortomosaico de Unión de Corrientes con una resolución espacial de 2.1 cm/píxel (Figura 17). Al igual que el vuelo en la laguna La Mojarra, se empleó el mismo índice de vegetación (VARI) en Unión de Corrientes (Figura 18), cuya descripción es la misma que la de la Figura.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





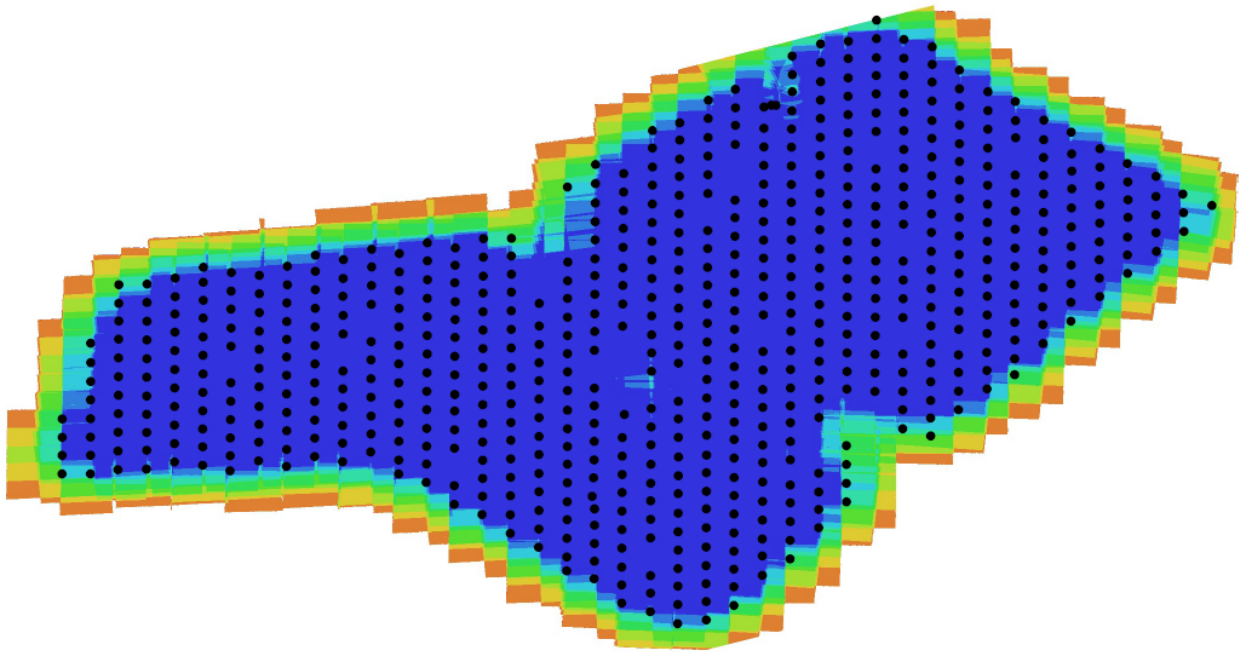


Figura 15. Localización y sobreposición de las 694 imágenes capturadas para Unión de Corrientes.

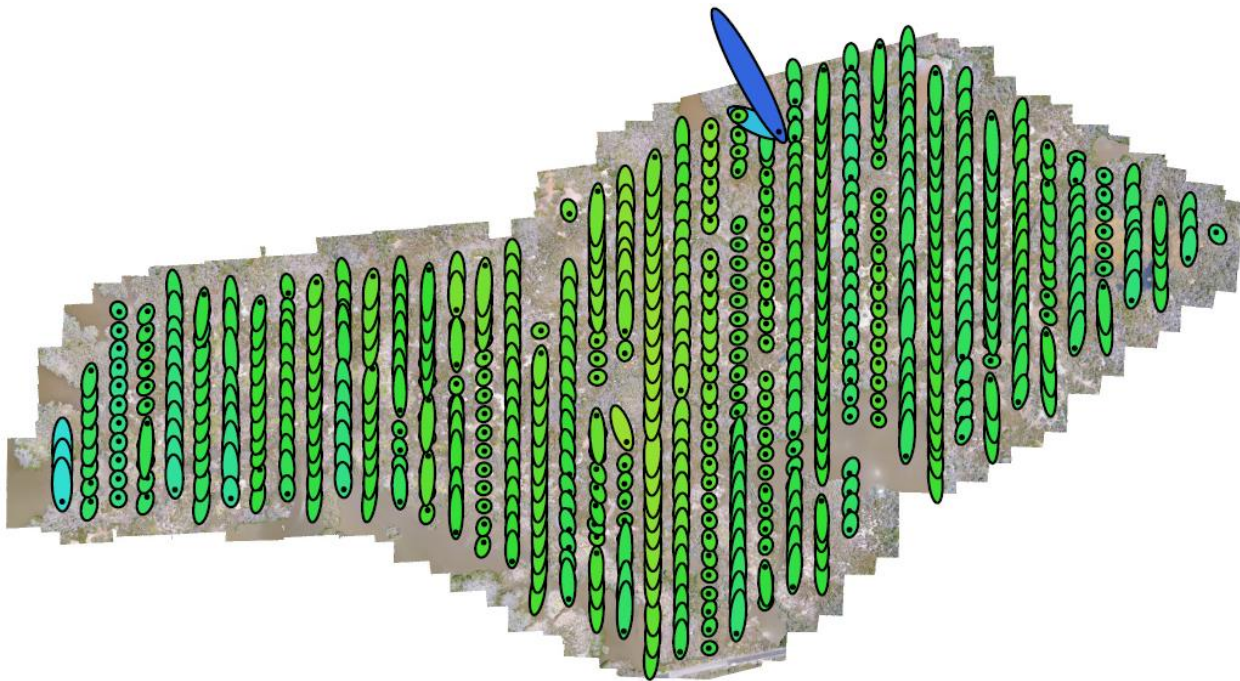


Figura. Representación visual de la exactitud de las imágenes adquirida durante el vuelo.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)

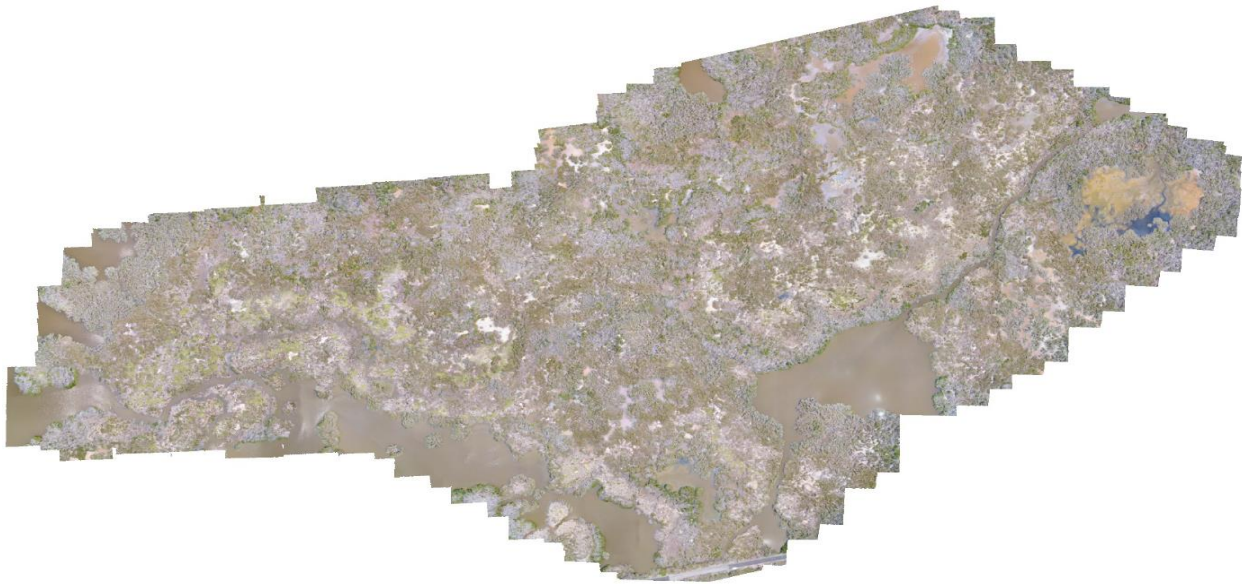


Figura. Ortomosaico generado para Unión de Corrientes a 2.1 cm/pixel.

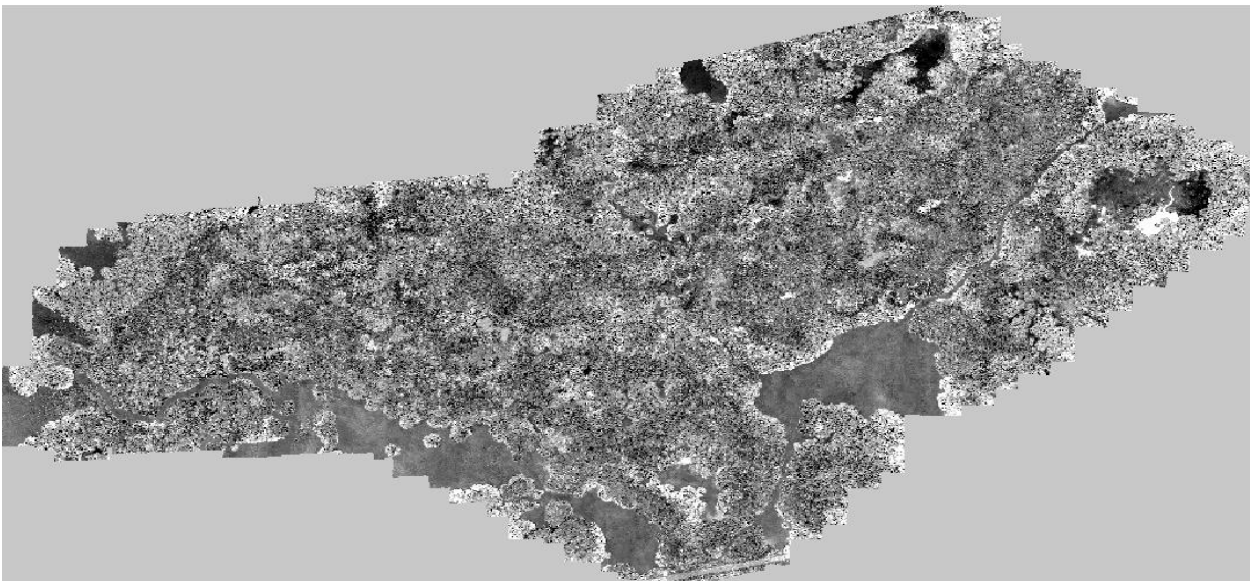


Figura. Índice de vegetación visible para el ortomosaico de Unión de Corrientes.

En la Figura 19 se muestra el procesamiento final del ortomosaico para Unión de Corrientes. El área total mapeada fue de 51.2 hectáreas en donde se aprecian zonas donde el manglar rojo se encuentra muerto probablemente debido a la presencia de una enredadera invasora (*Cissus verticillata*) la cual se caracteriza por envolver el dosel del bosque de manglar y estresar a la planta al limitar la



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
 e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





incidencia de la luz solar. Al momento del vuelo del dron en mayo, la época de estiaje ocasiona que la enredadera se encuentre en un estado latente, por lo que únicamente se aprecia los fustes de la enredadera sin hojas (subfiguras). La extracción de los pixeles de vegetación del índice VARI nos indica que actualmente hay 5.68 hectáreas principalmente de dosel de bosque de manglar, aunado probablemente a vegetación terrestre, con una mayor vigorosidad alrededor del cuerpo de agua. En este sitio, se recomienda la remoción manual de la enredadera durante la época de estiaje para facilitar su corte y extracción al no presentar hojas.

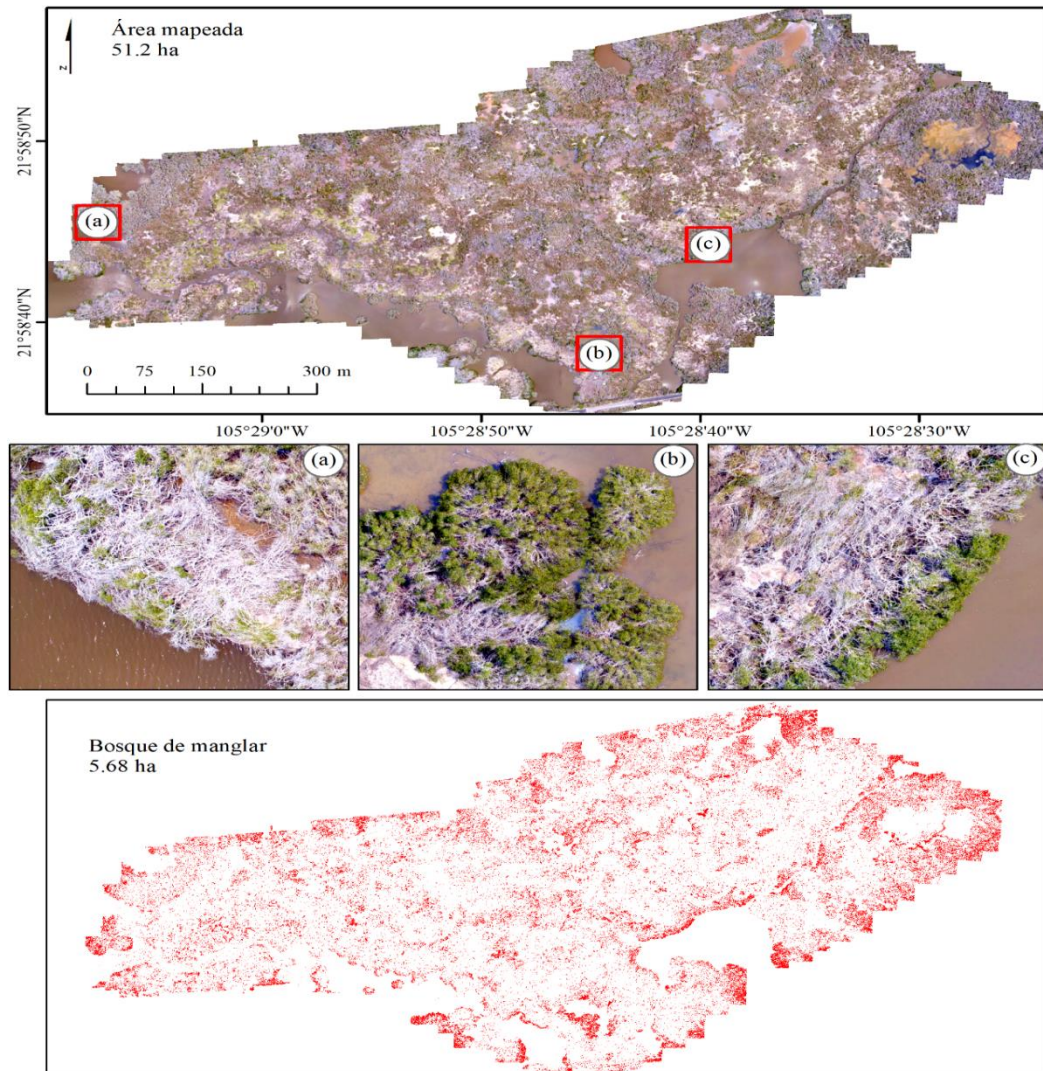


Figura 19. Ortomosaico de Unión de Corrientes georeferido (superior), tres acercamientos a zonas representativas (a-c) y el índice de vegetación únicamente mostrando la vegetación de manglar (inferior).



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





*Análisis de Fourier entre la amplitud y frecuencia de la inundación.*

Se compraron ocho sensores de nivel de agua marca HOBO y se instalaron cuatro en campo (Tabla 2 y Figura 20). Uno de los sensores presento una falla al momento de ser activado por lo que la batería interna del sensor probablemente venga defectuosa. La decisión de instalar cuatro sensores en lugar de ocho fue con base en los objetivos del estudio a largo plazo que se plantea. Sugiero que los otros sensores sean instalados en otras zonas representativas de interés por parte de TNC y WWF. Además, la probabilidad de que los sensores sean robados es relativamente baja en los sitios que se instalaron y es mejor no gastar las baterías internas de todos los sensores para este estudio que ya culminó.



Figura. Fotografías de campo de la instalación de los sensores de nivel de agua.

Tabla. Coordenadas para cada uno de los cuatro sensores de nivel de agua.

Sensor-1 Palma	13N UTM	Sensor-1 Union	13N UTM
0448766	2436040	0449155	2430001
Sensor-2 Palma	13N UTM	Sensor-2 Union	13N UTM
0448754	2436044	0449157	2430004



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



## BIBLIOGRAFÍA CITADA

Agardy, T. & Alder, J., 2005. *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. En: S. R. y. A. N. En: Hassan R., ed. Coastal systems. Washington DC., Estados Unidos de Norteamérica. pp. 515-543.

Adame, M.F., Cherian, S., Reef, R., Stewart-Koster, B., 2017. Mangrove root biomass and the uncertainty of belowground carbon estimations. *For. Ecol. Manag.* 403, 52–60.

Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., Crooks, S., Wagey, T. (2016). Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecology and Management*, 24(1), 3–13. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9446-y>

Barrios-Calderón, R. J. 2015. Combustibles forestales y su relación con incendios en humedales de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas. Tesis de Maestría en Recurso Naturales y Desarrollo Rural. EL colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, Mex. 203 pp.

Banerjee K., Sahoo Ch. K., Bal G., Mallik K., Paul R., Mitra A., 2019. High blue carbon stock in mangrove forests of Eastern India. *Tropical Ecology*.

Canadell, J. G., and Raupach, M. R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. *Science* 320, 1456–1457. doi: 10.1126/science.1155458

Castañeda-Moya, E., Twilley, R.R., Rivera-Monroy, V.H., Marx, B.D., Coronado- Molina, C., Ewe, S.M., 2011. Patterns of root dynamics in mangrove forests along environmental gradients in the Florida coastal Everglades, USA. *Ecosystems* 14, 1178–1195.

Cavalcanti, V. E., Soares, M., Estradat, G., & Chavest, F. (2009). Evaluating mangrove conservation through the analysis of forest. *Journal of Coastal Research*, 56, 390-394.

Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R., Lynch, J.C., 2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochem. Cycles* 17, 1111.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2013). *Instructivo para presentar programas de monitoreo de manglares de México*. México, D. F.: Programa de Restauración y Compensación Ambiental. Recuperado de:

CONABIO, 2017. Manglares de México: Actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980-2015. D.F., México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



Conde, K., 2014. Evaluación estacional de los parámetros ecológicos en hábitats críticos de la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, Campeche, México: Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur.  
[http://www.conabio.gob.mx/web/proyectos/pdf/instructivos/Instructivo\\_Manglares\\_2013.pdf](http://www.conabio.gob.mx/web/proyectos/pdf/instructivos/Instructivo_Manglares_2013.pdf)

Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.G., LaRoe, E.T., 1979. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. Department of the Interior, FWS, Washington, DC, United States.

Cruz-Ábrego, F. M., Hernández-Alcántara, P. & Solís-Weiss, V., 1994. Estudio de la fauna de poliquetos (Annelida) y moluscos (Gastropoda y Bivalvia) asociada con ambientes de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) y manglares (*Rhizophora mangle*) en la laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 21(1-2), 1-13.

Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. 2011 Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geosciences* 4: 293-297.

Ezcurra, P., E. Ezcurra, P. P. Garcillan, M. T. Costa, and O. Aburto-Oropeza. 2016. Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 113: 4404-4409. doi:10.1073/pnas.1519774113

Flores-de-Santiago F., Valderrama-Landeros L., Rodríguez-Sobreyra R., Flores-Verdugo F. 2020. Assessing the effect of flight altitude and overlap on orthoimage generation for UAV estimates of coastal wetlands. *Journal of Coastal Conservation* 24, 35.

Flores-Verdugo F., Ramírez-Barrón E., Flores-de-Santiago F. 2018. Hydroperiod enhancement using underground pipes for the efficient removal of hypersaline conditions in a semiarid coastal lagoon. *Continental Shelf Research* 162, 39-47.

Flores-Verdugo F., Zebadua-Penagos F., Flores-de-Santiago F. 2015. Assessing the influence of artificially constructed channels in the growth of afforested black mangrove (*Avicennia germinans*) within an arid coastal region. *Journal of Environmental Management* 160, 113-120.

Fromard F, Puig H, Mougín E, Marty G, Betoulle JL, Cadamuro L. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana. *Oecologia*. 1998. <https://doi.org/10.1007/s004420050489> PMID: 28308466

Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 154-159.

García-Cubas, A. (1981). Moluscos de un sistema lagunar tropical en el Golfo de México (Laguna de Términos Campeche). *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, Esp. 5(1)*, 182.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.* 25 (1), 101–110.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) (2014). *Coastal Blue 1 Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.* Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.

Howard J *et al.*, 2017 The potential to integrate blue carbon into MPA design and management *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 27, May p. 100–115.

Howe, J. C., Wallace, R. K., & Rikard, F. S. (1999). Habitat Utilization by Postlarval and Juvenile Penaeid Shrimps in Mobile Bay, Alabama. *Estuaries*, 22(4), 971-979.

Infante, M. D. (2011). *Estructura y dinámica de las selvas inundables de la planicie costera central del Golfo de México.* (Tesis de Doctorado). Jalapa, Veracruz, INECOL. A. C.

IPCC. 2014. In T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, and T. G. Troxler [eds.], 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC.

Jaramillo et al. (2003) informed that carbon content in tropical forest roots ranges from 36 % to 42 %. A suitable value for root carbon content is 39 % (median). Belowground root carbon content was calculated as  $(\text{MgC}_{\text{Org}} \cdot \text{ha}^{-1}) = \text{Belowground root biomass} * \text{carbon conversion factor} (0.39)$ .

Kauffman, J.B. and Donato, D.C. 2011 Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Working Paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Klute, A. (1986). *Methods of soils analysis.* Part 1. Physical and mineralogical methods (2nd ed.). Madison, Wisconsin, EUA, pp. 1188.

Komiyama A, Ong JE, Pongpan S. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany.* 2008. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>

López-Medellín & Ezcurra, E., 2012. The productivity of mangroves in northwestern México: a meta-analysis of current data. *Journal of Coastal Conservation*, 16(3), 399-403.

Lugo, A. E. & Snedaker, S. C., 1974. *The ecology of mangroves.* *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic*, 5, 39-64.

Mitsch, W. J. & Gosselink, J., 1986. *Wetlands.* New York. 539 p. Van Nostrand Reinhold.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



Mokany, K., Raison, R.J., Prokushkin, A.S., 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biol.* 12, 84–96.

Moreno-Casasola, P., & Warner, B. (2009). *Breviario para describir, observar y manejar humedales*. México: RAMSAR Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service US State Department.

Pendleton, L., Donato D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., *et al.* (2012). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE* 7(9): e43542

Purnobasuki, H., 2011. Structure of lenticels on the pneumatophores of *Avicennia marina*: as aerating device deliver oxygen in mangrove’s root. *Biota* 16 (2), 309–315.

Robertson, A. I. & Alongi, D. M., 1992. *Tropical Mangrove Ecosystems*. A.I. Robertson and D.M. Alongi, Eds. Washington, DC: American Geophysical Union, c1992.

Romero, B. E., 2012. Manglares del Soconusco, Chiapas: estructura y cambios a nivel de paisaje, Tapachula, Chiapas. (Tesis de Maestría), El Colegio de la Frontera Sur.

Rulifson, R. A. (1981). Substrate preferences of juvenile penaeid shrimps in estuarine habitats. *Contributions in Marine Science*, 24, 35-52.

Sánchez-Andrés, R., Sánchez-Carrillo, S., Alatorre, L. C., Cirujano, S., & Álvarez-Cobelas, M. (2010). Litterfall dynamics and nutrient decomposition of arid mangroves in the Gulf of California: Their role sustaining ecosystem heterotrophy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(210), 191-199.

Schaeffer-Novelli, Y., 1995. Manguezal ecosistema entre la tierra y el mar. *Caribbean Ecological Research*, Sao Paulo, p. 64.

Schile L.M., Kauffman J.B., Crooks s., Fourqurean J.W., Glavan J., Megonigal J.P., 2017. Limits on carbon sequestration in arid blue carbon ecosystems. *Ecological Applications*, 27(3), 2017, pp. 859–874

Sherman, R.E., Fahey, T.J., Martinez, P., 2003. Spatial patterns of biomass and aboveground net primary productivity in a mangrove ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems* 6, 384–398.

Smith III, T. J. y K. R. Whelan. 2006. Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management* 14(5): 409-419. doi: 10.1007/s11273-005-6243-

Soares, M., 1999. Estructura vegetal y el grado de perturbación del manglar en la laguna de Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Biología*, 59, 503-515.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



Steel, A., & Torrie, M. (1996). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. México D. F. México: Edit. McGrawHill.

Virgulino-Júnior, P.C.C., Carneiro, D.N., Nascimento, W.R., Cougo, M.F., Fernandes, M. E.B., 2020. Biomass and carbon estimation for scrub mangrove forests and examination of their allometric associated uncertainties. *PLoS One* 15 (3), e0230008.

Yañez-Arancibia, A. & Nugent, R. S., 1977. El papel ecológico de los peces en estuarios y lagunas costeras. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, 4(1), 107-114.

Yañez-Arancibia, A., 1978. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en las lagunas costeras con Bocas efímeras del Pacífico de México. *Anales del Centro Ciencias del Mar y Limnología*, 2(1), 306.

Flores-de-Santiago F., Valderrama-Landeros L., Rodríguez-Sobreyra R., Flores-Verdugo F. 2020. Assessing the effect of flight altitude and overlap on orthoimage generation for UAV estimates of coastal wetlands. *Journal of Coastal Conservation* 24, 35.

Flores-Verdugo F., Ramírez-Barrón E., Flores-de-Santiago F. 2018. Hydroperiod enhancement using underground pipes for the efficient removal of hypersaline conditions in a semiarid coastal lagoon. *Continental Shelf Research* 162, 39-47.

Flores-Verdugo F., Zebadua-Penagos F., Flores-de-Santiago F. 2015. Assessing the influence of artificially constructed channels in the growth of afforested black mangrove (*Avicennia germinans*) within an arid coastal region. *Journal of Environmental Management* 160, 113-120.

Serrano D., Flores-Verdugo F., Ramírez-Félix E., Kovacs J.M., Flores-de-Santiago F. 2020. Modeling tidal hydrodynamic changes induced by the opening of an artificial inlet within a subtropical mangrove dominated estuary. *Wetlands, Ecology and Management* 28, 103-118.

Valderrama-Landeros L., Flores-Verdugo F., Rodríguez-Sobreyra R., Kovacs J.M., Flores-de-Santiago F. 2021. Extrapolating canopy phenology information using Sentinel-2 data and the Google Earth Engine platform to identify the optimal dates for remotely sensed image acquisition of semiarid mangroves. *Journal of Environmental Management* 279, 111617.

Valderrama-Landeros L., Blanco y Correa M., Flores-Verdugo F., Álvarez-Sánchez L.F., Flores-de-Santiago F. 2020. Spatiotemporal shoreline dynamics of Marismas Nacionales, Pacific coast of Mexico, based on a remote sensing and GIS mapping approach. *Environmental, Monitoring and Assessment* 192, 123.

Benítez-Pardo, D. & Flores-Verdugo (2007). Forestación artificial con manglares en isletas de dragado en una región semiarida de México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. CICIMAR-IPN. TESIS DE DOCTORADO. La Paz, B. C. S.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)





Manuel Blanco y Correa (Ed.), Francisco Flores-Verdugo, Mario Arturo Ortiz Pérez, Guadalupe de la Lanza Espino, Jorge López Portillo, Ignacio Valdéz Hernández, Claudia Agraz Hernández, Steven Czitrom, Evelia Rivera Arriaga, Asunción Orozco, Gloria Alicia Jiménez Ramón, Daniel Benítez Pardo, Julio Gómez Gurrola, Alfonso Ángel González Díaz, Miriam Soria Barreto, George Otis Kruse, Edwin Alberto Jacobo Sapién, Gabriela López Cano, Héctor Blanco Fuentes y Ricardo Blanco Fuentes (2011). Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales. Informe final de los convenios de coordinación entre la Universidad Autónoma de Nayarit y la Comisión Nacional Forestal con el patrocinio del Gobierno del Reino Unido, Tepic, Nayarit. 190 páginas.

Flores-Verdugo, F. J. (2007). La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. Bol. Soc. Bot. Méx.: 33-47 pp.

Ortiz Pérez, M.A.1988. Evidencia de cambios geomorfológicos del sistema litoral me diante el análisis de imágenes aéreas. Geografía y Desarrollo 29:2-9.

Serrano D., Flores-Verdugo F., Ramírez-Félix E., Kovacs J.M., Flores-de-Santiago F. 2020. Modeling tidal hydrodynamic changes induced by the opening of an artificial inlet within a subtropical mangrove dominated estuary. Wetlands, Ecology and Management 28, 103-118.

Valderrama-Landeros L., Flores-Verdugo F., Rodríguez-Sobreyra R., Kovacs J.M., Flores-de-Santiago F. 2021. Extrapolating canopy phenology information using Sentinel-2 data and the Google Earth Engine platform to identify the optimal dates for remotely sensed image acquisition of semiarid mangroves. Journal of Environmental Management 279, 111617.

Valderrama-Landeros L., Blanco y Correa M., Flores-Verdugo F., Álvarez-Sánchez L.F., Flores-de-Santiago F. 2020. Spatiotemporal shoreline dynamics of Marismas Nacionales, Pacific coast of Mexico, based on a remote sensing and GIS mapping approach. Environmental, Monitoring and Assessment 192, 123.

Valderrama-Landeros L., Flores-de-Santiago F. 2019. Assessing coastal erosion and accretion trends based on remote sensing data along two contrasting subtropical rivers. Ocean and Coastal Management 169, 58-67.

Vizcaya-Martínez D.A., Flores-de-Santiago F., Valderrama-Landeros L., Serrano D., Rodríguez-Sobreyra R., Álvarez-Sánchez L.F., Flores-Verdugo F. 2022. Monitoring detailed mangrove hurricane damage and early recovery using multisource remote sensing data. Journal of Environmental Management 320, 115830.

Flores-de-Santiago F., Valderrama-Landeros L., Rodríguez-Sobreyra R., Flores-Verdugo F. 2020. Assessing the effect of flight altitude and overlap on orthoimage generation for UAV estimates of coastal wetlands. Journal of Coastal Conservation 24, 35.

Flores-Verdugo F., Ramírez-Barrón E., Flores-de-Santiago F. 2018. Hydroperiod enhancement using underground pipes for the efficient removal of hypersaline conditions in a semiarid coastal lagoon. Continental Shelf Research 162, 39-47.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: dir\_vyaqui@tecnm.mx. [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)



Flores-Verdugo F., Zebadua-Penagos F., Flores-de-Santiago F. 2015. Assessing the influence of artificially constructed channels in the growth of afforested black mangrove (*Avicennia germinans*) within an arid coastal region. *Journal of Environmental Management* 160, 113-120.

Serrano D., Flores-Verdugo F., Ramírez-Félix E., Kovacs J.M., Flores-de-Santiago F. 2020. Modeling tidal hydrodynamic changes induced by the opening of an artificial inlet within a subtropical mangrove dominated estuary. *Wetlands, Ecology and Management* 28, 103-118.

Valderrama-Landeros L., Flores-Verdugo F., Rodríguez-Sobreyra R., Kovacs J.M., Flores-de-Santiago F. 2021. Extrapolating canopy phenology information using Sentinel-2 data and the Google Earth Engine platform to identify the optimal dates for remotely sensed image acquisition of semiarid mangroves. *Journal of Environmental Management* 279, 111617.

Valderrama-Landeros L., Blanco y Correa M., Flores-Verdugo F., Álvarez-Sánchez L.F., Flores-de-Santiago F. 2020. Spatiotemporal shoreline dynamics of Marismas Nacionales, Pacific coast of Mexico, based on a remote sensing and GIS mapping approach. *Environmental, Monitoring and Assessment* 192, 123.

Valderrama-Landeros L., Flores-de-Santiago F. 2019. Assessing coastal erosion and accretion trends based on remote sensing data along two contrasting subtropical rivers. *Ocean and Coastal Management* 169, 58-67.

Vizcaya-Martínez D.A., Flores-de-Santiago F., Valderrama-Landeros L., Serrano D., Rodríguez-Sobreyra R., Álvarez-Sánchez L.F., Flores-Verdugo F. 2022. Monitoring detailed mangrove hurricane damage and early recovery using multisource remote sensing data. *Journal of Environmental Management* 320, 115830.



Av. Tecnológico, Block 611, C.P.85276, Bácum, Sonora. Tel. (644) 461-3182  
e-mail: [dir\\_vyaqui@tecnm.mx](mailto:dir_vyaqui@tecnm.mx). [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vyaqui.tecnm.mx](http://vyaqui.tecnm.mx)

