

Prioridades para la Restauración de Manglares en Marismas Nacionales, México: Informe final

Author

Villarreal-Rosas, Jaramar, Brown, Christopher J, Adame, María F, Buelow, Cristina, Jacobo, Pilar, Najera, Eduardo, Mascote, Coral, Martínez, Anuar, Villarreal, Jaime, Domínguez, Ricardo, López, Ixchel, Andradi-Brown, Dominic, Paiz, Yves C, Vázquez Moran, Víctor Hugo

Published

2022

DOI

[10.25904/1912/4820](https://doi.org/10.25904/1912/4820)

Rights statement

© Griffith University 2022.

Downloaded from

<http://hdl.handle.net/10072/422989>

Link to published version

<https://www.griffith.edu.au/>

Griffith Research Online

<https://research-repository.griffith.edu.au>



PRIORIDADES PARA LA RESTAURACIÓN DE MANGLARES EN MARISMAS NACIONALES, MÉXICO



CONANP

Informe final

Elaborado por

Jaramar Villarreal-Rosas

Griffith University, Australia



En colaboración con: Griffith University (Christopher J. Brown, María F. Adame, Cristina Buelow), WWF-México (Pilar Jacobo, Eduardo Najera, Coral Mascote, Anuar Martínez, Jaime Villarreal, Ricardo Domínguez, Ixchel López), WWF-US (Dominic Andradi-Brown), TNC-México (Yves C. Paiz), CONANP (Víctor Hugo Vázquez Moran).

Noviembre 2022

1. Objetivo general

Identificar sitios y acciones con el mayor potencial de restauración de manglares en la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales, México.

2. Introducción

El presente estudio surge de la necesidad de realizar un análisis científicamente robusto que permitiera identificar sitios con el mayor potencial de restauración de manglares en la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN) (Figura 1). Para ello, distintas instituciones gubernamentales, no-gubernamentales y académicas trabajaron de manera conjunta durante el año 2022 (Anexo 1). Las instituciones involucradas incluyeron, CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), PRONATURA, TNC (The Nature Conservancy, México), WWF (World Wildlife Fund, México), CINVESTAV (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Mérida), ENES-Mérida, UNAM (Escuela Nacional de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autónoma de México) y Griffith University (Australia).

En este estudio se identificaron sitios con el mayor potencial de restauración de manglares con base en tres criterios, (I) la presencia de condiciones biofísicas que favorecen el restablecimiento natural (i.e., restauración pasiva) de manglares, considerando las posibles respuestas del sistema al cambio climático, (II) mayor aptitud del territorio a la provisión de servicios del ecosistema (i.e., pesca y turismo), y (III) menor aptitud del territorio al desarrollo de actividades productivas (i.e., ganadería, acuicultura, agricultura) (Tabla 1).

También se recopiló información sobre los factores antropogénicos (e.g., construcción del Canal de Cuautla, construcción de carreteras, camaronicultura y agricultura) que afectan las dinámicas hidrosedimentarias del sistema de lagunas en la RBMNN y que constituyen la principal causa de la degradación de manglar en la reserva. Esta información sirve de guía para la elaboración de una estrategia de restauración hidrosedimentaria específica para cada sitio prioritario. En la restauración hidrosedimentaria se busca recrear las condiciones biofísicas requeridas para favorecer el restablecimiento natural de manglares (Teutli-Hernández et al., 2021).

En este estudio también se compiló información sobre el historial de participación en actividades de restauración y la prevalencia de conflictos sociales en los ejidos que se encuentran dentro de la RBMNN. Esta información sirve para analizar la viabilidad en la implementación de acciones de restauración en cada sitio.

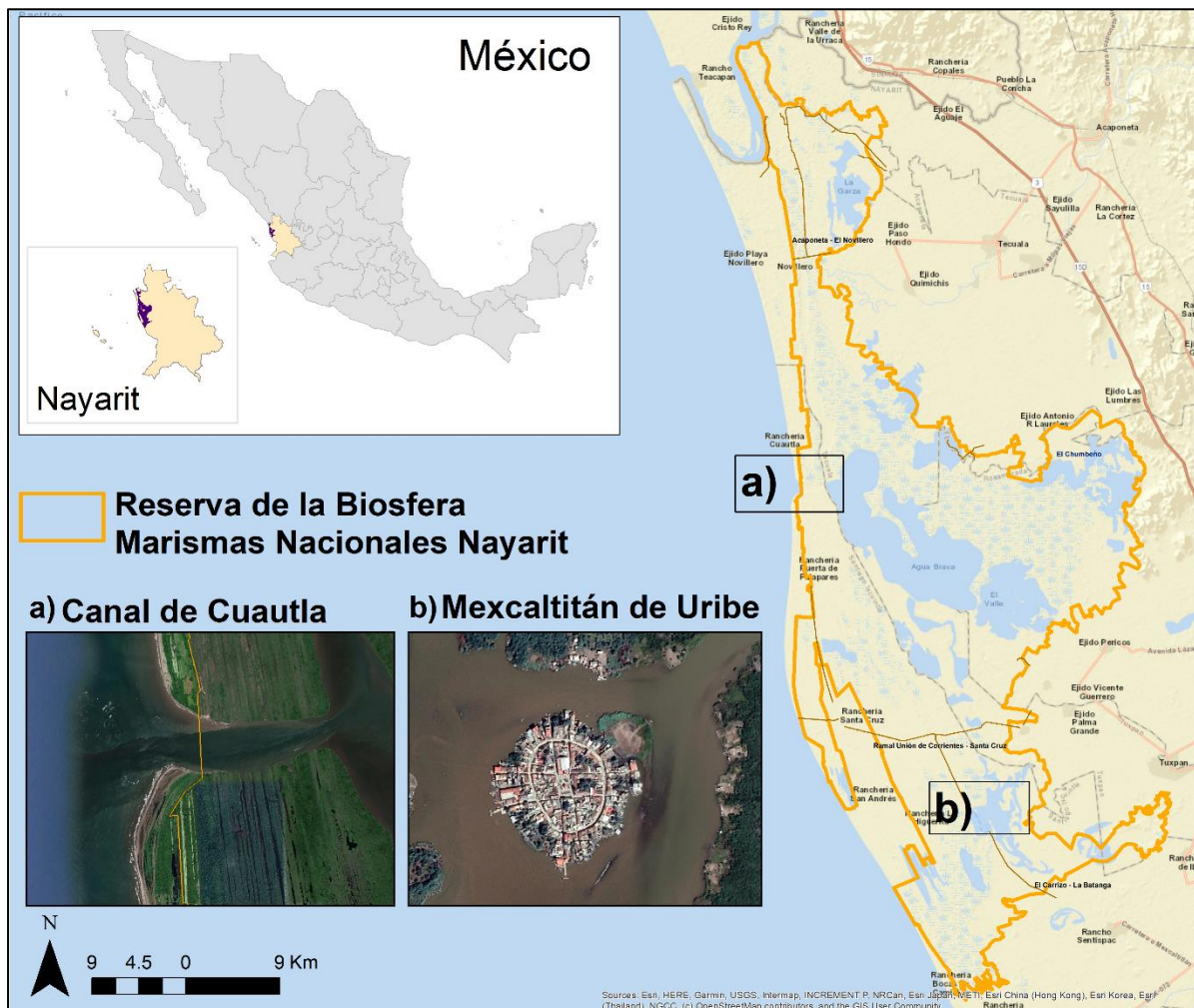


Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN), México. a) Ubicación del Canal de Cuautla, boca mareal artificial abierta entre 1974 y 1976 con el objetivo de aumentar la producción de camarón en la región. Desde su apertura ha causado cambios significativos en las dinámicas hidrosedimentarias en el sistema lagunar que integra la RBMNN, lo que contribuye a la degradación de manglar en la reserva. b) Ubicación de la Isla artificial Mexcaltitán de Uribe, contiene una población de alrededor de mil habitantes y es un sitio turístico de importancia nacional.

Tabla 1. Criterios para identificar sitios con el mayor potencial de restauración de manglar en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, Nayarit.

<p>(I) Los sitios con las siguientes condiciones biofísicas tienen prioridad pues favorecen el restablecimiento natural (i.e., restauración pasiva) de manglares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel de degradación del manglar intermedio, en lugar de muy alto. • Muerte de manglar registrada en los últimos 10 años, en lugar de 30 años o más. • Mayor disponibilidad a sitios de manglar saludable que pueden aportar semillas y propágulos al potencial sitio de restauración. • Menor exposición a inundaciones en los últimos 30 años. • Mayor espacio disponible alrededor del sitio potencial de restauración para la migración del manglar (i.e., colonización de manglares como respuesta al aumento en el nivel del mar).
<p>(II) Los sitios con mayor aptitud a la provisión de servicios del ecosistema (i.e., pesca y turismo) tienen prioridad pues son actividades compatibles con la restauración de manglar.</p> <p><i>Pesca</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor aptitud en aquellos sitios con mayor proximidad a cuerpos de agua superficial, excelente demanda bioquímica de oxígeno, la cobertura vegetal es mangle, popal, tular o cuerpos de agua y proximidad a carreteras y terracerías menor a 100 metros. <p><i>Turismo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor aptitud en aquellos sitios a una distancia menor a 2km, con mayor índice de infraestructura turística, proximidad a carreteras y terracerías menor a 3km, la cobertura vegetal es mangle, selva, bosque o cuerpos de agua.
<p>(III) Los sitios con menor aptitud al desarrollo de actividades productivas (i.e., agricultura, ganadería, acuicultura) tienen prioridad pues son actividades que pueden dificultar la restauración de manglar.</p> <p><i>Agricultura</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor aptitud en donde el suelo no ha sido erosionado, proximidad a carreteras y terracerías es menor a 1km, la pendiente es de 0 a 5 grados, la proximidad a cuerpos de agua es menor a 300 metros, el uso de suelo es agrícola, el tipo de suelo es luvisol. <p><i>Ganadería</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor aptitud en donde el suelo no ha sido erosionado, proximidad a carreteras y terracerías entre 1 y 1.5 km, la proximidad a cuerpos de agua es menor a 1.5 km, el uso de suelo es pastizal inducido, el tipo de suelo es acrisol, fozem o luvisol. <p><i>Acuicultura</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor aptitud en donde la pendiente es de 0 a 5 grados, la proximidad a carreteras y terracerías es menor a 500 m, la demanda bioquímica de oxígeno es excelente, el tipo de suelo es acrisol, fozem o luvisol, el tipo de suelo es solonchak o gleysol, el uso de suelo es acuícola y la proximidad a cuerpos de agua es menor a 50m.

3. Metodología

Los criterios (Tabla 1) que fueron utilizados para priorizar sitios con el mayor potencial de restauración de manglar se identificaron de manera conjunta en diversos talleres y sesiones de retroalimentación con representantes de las diferentes instituciones involucradas en este estudio (Anexo 1). Posteriormente se generaron capas espaciales sobre los diferentes criterios de priorización (Tabla 1), utilizando bases de datos de libre acceso, además de datos proporcionados por CONANP, TNC-México y WWF-México (Anexo 2).

La información sobre los factores antropogénicos que están causando la degradación de manglar en la RBMNN se obtuvieron de dos fuentes de información, el 'Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales' (Blanco y Correa, 2011) y entrevistas que WWF-México (WWF, 2022) realizó a representantes de instituciones que activamente llevan a cabo distintos proyectos de restauración y manejo de recursos naturales dentro de la RBMNN, incluyendo CONAFOR, CONANP y Pronatura (Anexo 2). La información sobre el contexto social dentro de la RBMNN también se obtuvo de las entrevistas que realizó WWF-México en 2022 (Anexo 2).

Para poder identificar sitios potenciales para la restauración dentro de la RBMNN, se dividió el área total de manglar degradado dentro la reserva en 468 unidades de decisión con un área promedio de 200 ha (área mínima 41 ha, área máxima 534 ha). (Anexo 2). Los polígonos tienen una forma predominantemente hexagonal, aunque respetan la geomorfología de los sistemas mareales (regiones con patrones similares de flujo y recambio fluvial y mareal) previamente identificados para la RBMNN (Blanco y Correa, 2011). El análisis de priorización se realizó utilizando la herramienta ROOT (Restoration Opportunities Optimization Tool) (Anexo 2). ROOT, a través de un algoritmo, evalúa sistemáticamente cada unidad de decisión en su capacidad de asegurar el mayor potencial de restauración de manglar con base en los criterios previamente establecidos (Tabla 1).

4. Resultados

4.1. Sitios prioritarios para la restauración con base en el potencial de restauración.

La RBMNN contiene un total de 60,290 ha de manglar, de las cuales 22,958 ha (38% del total) se encuentran bajo algún nivel de degradación (Figura 2). Del total de hectáreas de manglar degradado, 7,647 ha tienen un nivel de degradación bajo, 993 ha medio, 47 ha alto y 14,270 ha muy alto. El área total de manglar degradado se dividió en 468 unidades de decisión, estos son sitios en donde potencialmente se pueden llevar a cabo acciones de restauración (Figura 2).

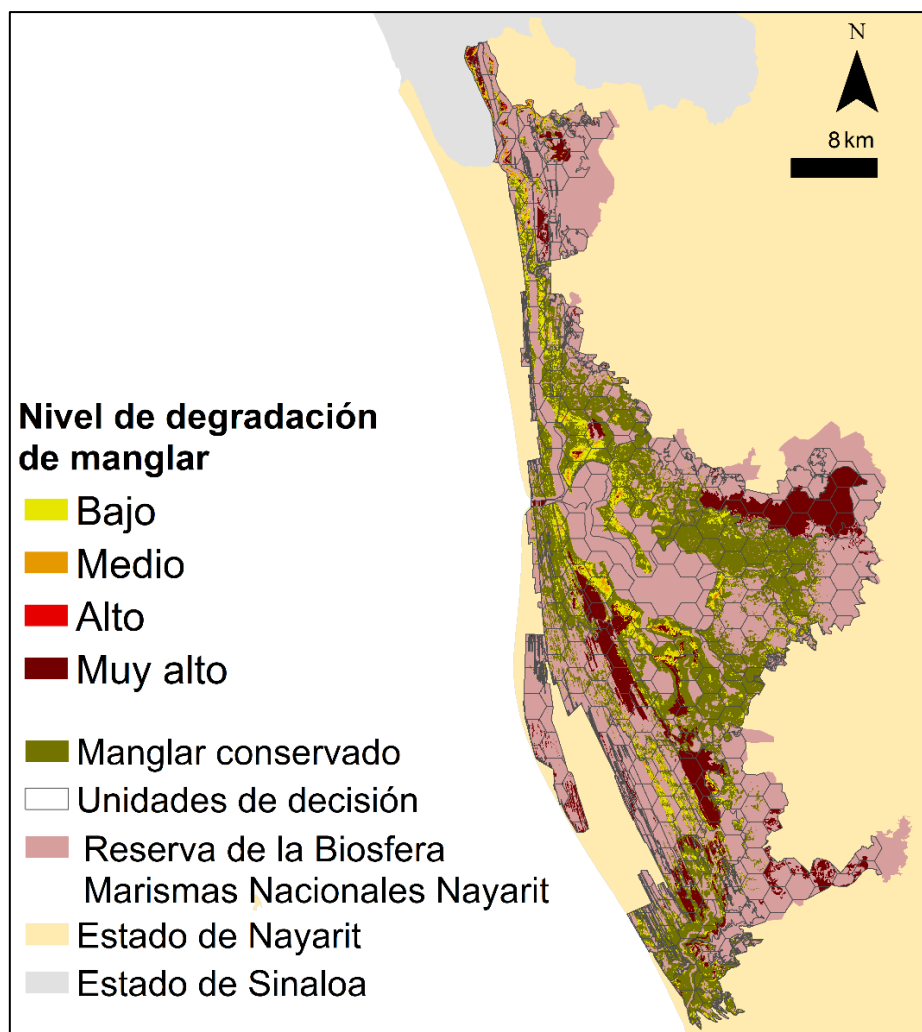


Figura 2. Extensión de manglar degradado y conservado dentro de la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit. Los niveles de degradación Bajo a Alto representan la intensidad en la disminución de NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) más allá de las fluctuaciones naturales. La categoría Muy Alto incluye parches de manglar muerto. El área total de manglar degradado se dividió en 468 unidades de decisión, estos son sitios en donde potencialmente se pueden llevar a cabo acciones de restauración.

Identificamos el rango de prioridad de las 468 unidades de decisión respecto a su potencial de restauración (basado en los criterios que se detallan en la Tabla 1) (Figura 3). El rango de prioridad codifica cada una de las unidades de decisión en valores que van del 1 al 100, en donde 1 representa el mayor potencial de restauración (por lo tanto mayor prioridad) y 100 representa el menor potencial de restauración (por lo tanto menor prioridad).

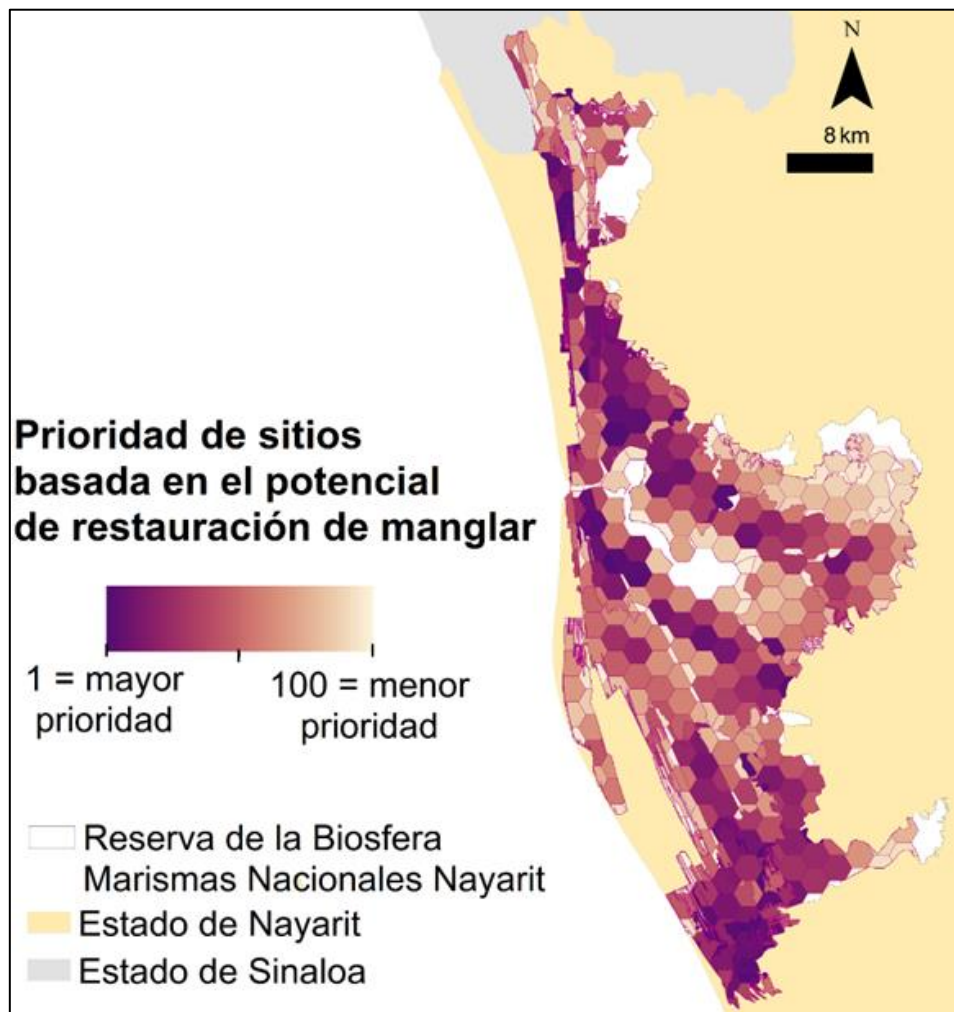


Figura 3. Prioridad de sitios basada en tres criterios que denotan el potencial de restauración de manglar: 1) la presencia de condiciones biofísicas que favorecen el restablecimiento natural de manglares, 2) mayor aptitud a la provisión de pesca y turismo, pues son actividades compatibles con la restauración de manglar, 3) menor aptitud al desarrollo de actividades productivas, pues son actividades que pueden dificultar la restauración de manglar.

Aunque el 38% de los manglares en la RBMNN presenta algún tipo de degradación, existen limitantes de recursos humanos, financieros y sociales que restringen la capacidad de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan

en la RBMNN para implementar acciones de restauración en todos aquellos lugares donde son necesarias en un tiempo determinado. Sin embargo, futuras oportunidades de financiamiento para la restauración de manglar son posibles. El mapa de rangos de prioridad que aquí presentamos (Figura 3) puede ayudar a tomadores de decisiones actuales y futuros a identificar sitios prioritarios para invertir en restauración de manglar bajo los recursos y capacidades que existan en distintos momentos.

Al clasificar el rango de prioridades en tres intervalos equivalentes (de la prioridad 1 a 34, 35 a 67 y 68 a 100) identificamos 155 unidades de decisión dentro del rango 1-34, es decir con prioridad alta (Figura 4). Usando esta clasificación, se pueden observar cuatro regiones prioritarias para la restauración de manglares dentro de la RBMNN (pues agrupan la mayor cantidad de unidades de decisión con potencial de restauración altos). Dentro de estas cuatro regiones, se encuentran las 15 unidades de decisión (correspondiente a 1,532 ha) con una categoría de prioridad 1, es decir muy alta. Por otro lado, se encontraron 188 unidades de decisión con un rango de prioridad de entre 68-100, es decir, sitios en donde el potencial de restauración es bajo (Figura 4).

Las 15 unidades de decisión con un potencial de restauración muy alto son las que mejor cumplen con los criterios de priorización en comparación con el resto de las unidades de decisión (Tabla 2). Es decir, son aquellos sitios con las mejores condiciones biofísicas para el restablecimiento natural de manglares, en donde el territorio tiene la mayor aptitud para la provisión de pesca y turismo, actividades de importancia actual y potencial dentro de la RBMNN y que son compatibles con actividades de restauración. Los 15 sitios prioritarios también son aquellos en donde el territorio tiene la menor aptitud al desarrollo de agricultura, ganadería y acuicultura, sitios que se buscó evadir para minimizar posibles dificultades en la implementación de acciones de restauración (Tabla 2).

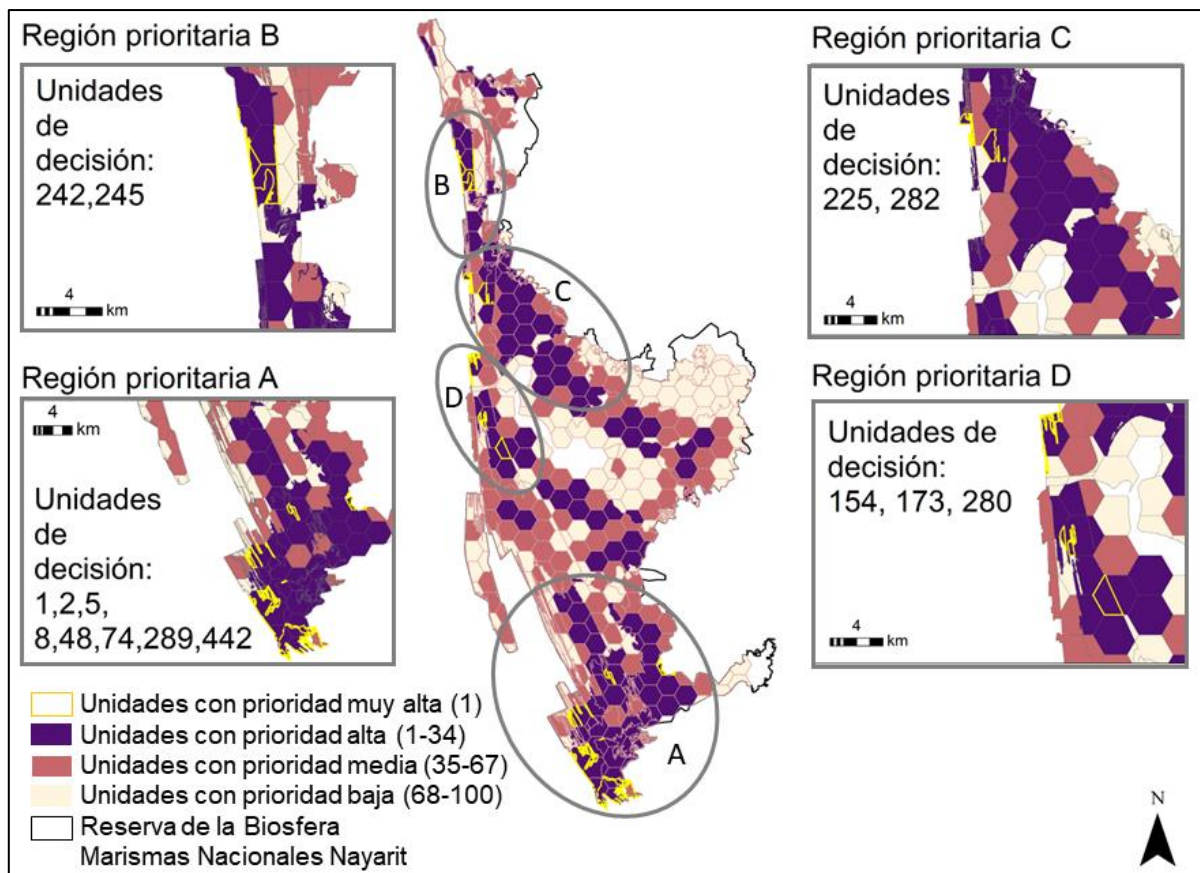


Figura 4. Cuatro regiones prioritarias para la restauración de manglar en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit. Las regiones agrupan unidades de decisión dentro del rango de prioridad alta (1-34). Dentro de cada región, se encuentran las 15 unidades de decisión bajo la categoría de prioridad muy alta (1). En un análisis de priorización subsecuente se encontró que las unidades 2, 5 y 442 (ubicadas en la región A) tienen relativamente un mayor potencial de restauración de manglar que el resto de las unidades de decisión en el rango de prioridad 1.

De los 10 criterios que utilizamos en la priorización (Tabla 1), la diferencia entre los sitios con potencial de restauración ‘muy alto’ y ‘bajo’ radica principalmente en las condiciones biofísicas que permitirán el restablecimiento natural de manglares. Comparemos los indicadores biofísicos entre la región prioritaria A (región con un potencial de restauración ‘muy alto’ localizada primordialmente dentro de los límites del ejido Mexcaltitán de Uribe y Anexos) y la Laguna del Chumbeño (región con un potencial de restauración ‘bajo’). En la región prioritaria A, hay un promedio de 4 ha por unidad de decisión con un nivel de degradación muy alto, mientras que en la Laguna del Chumbeño el promedio es de 96 ha. Además, en la región prioritaria A, la superficie disponible de manglar conservado es más de tres veces mayor que en la

Tabla 2. Indicadores para las unidades de decisión con potencial de restauración ‘muy alto’ y ‘bajo’ en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit.

	Región prioritaria	Unidades de decisión	Área total ¹	Nivel de degradación de manglar ²			Muerte de manglar ³	Disponibilidad a sitios que aporten semillas y propágulos ⁴	Exposición a inundaciones ⁵	Espacio disponible para la migración de manglar ⁶	Potencial de desarrollo pesquero ⁷	Potencial de desarrollo turístico ⁷	Potencial de desarrollo agrícola ⁷	Potencial de desarrollo ganadero ⁷	Potencial de desarrollo acuícola ⁷
				Bajo	Medio y alto	Muy alto									
			ha	ha				ha	%	ha	índice 1-0, 1 mayor potencial				
Potencial de restauración muy alto	A	1,2,5,8, 48,74, 289, 442	608	6 (48)	0.32 (3)	4 (37)	1970-2005	1,428	4	598	0.58	0.78	0.33	0.58	0.58
	B	242, 245	299	48 (96)	8 (17)	0 (0)	2010-2015	769	22	1,523	0.59	0.57	0.32	0.48	0.64
	C	225, 282	250	7 (15)	0.2 (0.41)	0 (0)	2005-2015	1,145	7	439	0.59	0.65	0.32	0.46	0.58
	D	154, 173, 280	374	14 (42)	0.6 (2)	6 (18)	1970-2010	1,414	11	346	0.65	0.82	0.35	0.55	0.59
Potencial de restauración bajo	Laguna del Chumbeño		11,055	0.52 (22)	0.04 (1.72)	96 (4,139)	1970-2005	390	71	795	0.66	0.33	0.36	0.57	0.62
	Laguna Agua Brava		9,049	10 (307)	1 (33)	0.008 (0.24)	1970-2005	1,081	75	8	0.63	0.30	0.31	0.46	0.63

¹Promedio y suma del área de todas las unidades de decisión con prioridad 1 por región.

²Promedio y suma de hectáreas totales de manglar degradado de todas las unidades de decisión en cada región.

³Periodo de tiempo en el que más superficie de manglar murió.

⁴Promedio de hectáreas totales de manglar conservado en un radio de 2 km de todas las unidades de decisión en cada región.

⁵Proporción de la unidad de decisión que ha sido inundada en los últimos 37 años (1984-2020). Valor promedio considerando todas las unidades de decisión en cada región.

⁶Promedio de hectáreas totales de marismas, salinas, planicies costeras, y superficie sin infraestructura urbana en un radio de 2 km de todas las unidades de decisión en cada región.

⁷Valor promedio considerando todas las unidades de decisión en cada región.

Laguna del Chumbeño (1,428 ha vs 390 ha) y la exposición a inundaciones es más de 17 veces menor en la región prioritaria A (4% vs 71%) (Tabla 2). Por lo tanto, los sitios con un potencial de restauración bajo pueden también describirse como sitios en donde las condiciones biofísicas existentes no facilitan el restablecimiento natural de manglares.

Restaurar las condiciones biofísicas de acuerdo con la ecología del manglar (e.g., restauración hidrosedimentaria y topográfica, Teutli-Hernández (2021)) es parte de las posibles acciones para la recuperación de este ecosistema. No obstante, también es fundamental reconocer que, en algunos sitios, el impacto al ecosistema puede ser irreversible (Ramírez-García et al., 1998) o el tipo de acción necesaria es social y política más que biofísica (e.g., negociar reservas de agua para el ambiente). Por ejemplo, en la Laguna del Chumbeño, el secuestro de agua fluvial para incentivar la agricultura ocasionó la muerte de más de 4,000 ha de manglar en donde la especie dominante era mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) (Blanco y Correa, 2011; Ramírez-García et al., 1998). Aunado a la disminución de aportes fluviales, es probable que los cambios en la dinámica de mareas provocados por la apertura del Canal de Cuautla también dificultan la regeneración natural de manglar alrededor de la Laguna del Chumbeño.

Con la muerte de manglar ocurre un fenómeno conocido como subsidencia, en el cual el sedimento se compacta y por lo tanto disminuye la elevación del terreno en referencia con el rango mareal, condiciones que dificultan el establecimiento de propágulos (Lovelock et al., 2015). Para propiciar el restablecimiento de plántulas en la Laguna del Chumbeño se podrían elaborar trabajos de restauración topográfica, a través de la construcción de islas de dispersión, en donde artificialmente se coloca sedimento por arriba del nivel de marea para facilitar el establecimiento de propágulos (Teutli-Hernández et al., 2021). No obstante, nuestros resultados muestran que esta zona tiene relativamente menor acceso a sitios de manglar conservado comparado con otras regiones dentro de la RBMNN (Tabla 2), por lo que el aporte de propágulos y semillas puede ser relativamente bajo. Aunque la superficie disponible para la migración de manglar es casi el doble en la Laguna del Chumbeño en comparación con la región prioritaria A (795 ha vs 598 ha), en su conjunto las condiciones biofísicas existentes son menos propicias para la recuperación de manglar.

La Laguna Agua Brava es otro sitio dentro de la RBMNN con un potencial de restauración bajo. En esta zona, los principales factores que disminuyen su potencial de restauración son 1) la gran proporción de unidades de decisión cuya superficie ha estado inundada en los últimos 37 años (75%) y 2) la baja disponibilidad de espacio para la migración de manglar (8 ha) como posible respuesta adaptativa al aumento en el nivel del mar (Tabla 2). La capacidad de los manglares para desplazarse tierra adentro se ha documentado en otras regiones, por ejemplo, en Florida, EU el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) ha colonizado más de 1km de áreas que antes estaban cubiertas por marismas (Godoy & de Lacerda, 2015). En otros países como Australia, Vietnam e Indonesia se ha documentado la capacidad de los manglares para acumular sedimentos y por lo tanto mantener la elevación del terreno por arriba del nivel del mar, a una altura apropiada para el establecimiento de plántulas (Lovelock et al., 2015). En la RBMNN, la respuesta de los manglares al aumento en el nivel del mar es incierta. Sin embargo, enfocar esfuerzos en sitios con más espacio para la migración y evitando sitios que probablemente van ser inundados en el futuro constituye un tipo de manejo climáticamente inteligente, es decir, que considera las posibles respuestas del sistema al cambio climático (Snyder et al., 2021).

4.2. Causas de degradación del manglar y contexto social

Para poder determinar una estrategia de restauración exitosa es necesario entender las causas de la muerte del manglar (Teutli-Hernández et al., 2021). Gracias a la información que proporciona Blanco y Correa (2011), podemos entender las causas históricas de la degradación y muerte de manglar en la RBMNN y localizar su impacto espacialmente (Figura 5). Entre las actividades que han ocasionado mayores impactos en la RBMNN se encuentra la creación del Canal de Cuautla, boca mareal artificial abierta entre 1974 y 1976 con el objetivo de aumentar la producción de camarón en la región, y la puesta en marcha de la presa Aguamilpa en 1994, establecida 70 km río arriba de la boca del Río Santiago. La apertura del Canal de Cuautla provocó la alteración de los regímenes de marea en 19 de los 56 sistemas mareales identificados para todo Marismas Nacionales (más allá de los límites de la RBMNN, el sistema de lagunas de Marismas Nacionales colinda al norte con el Río Baluarte, Sonora y al sur con San Blas, Nayarit) (Blanco y Correa, 2011).

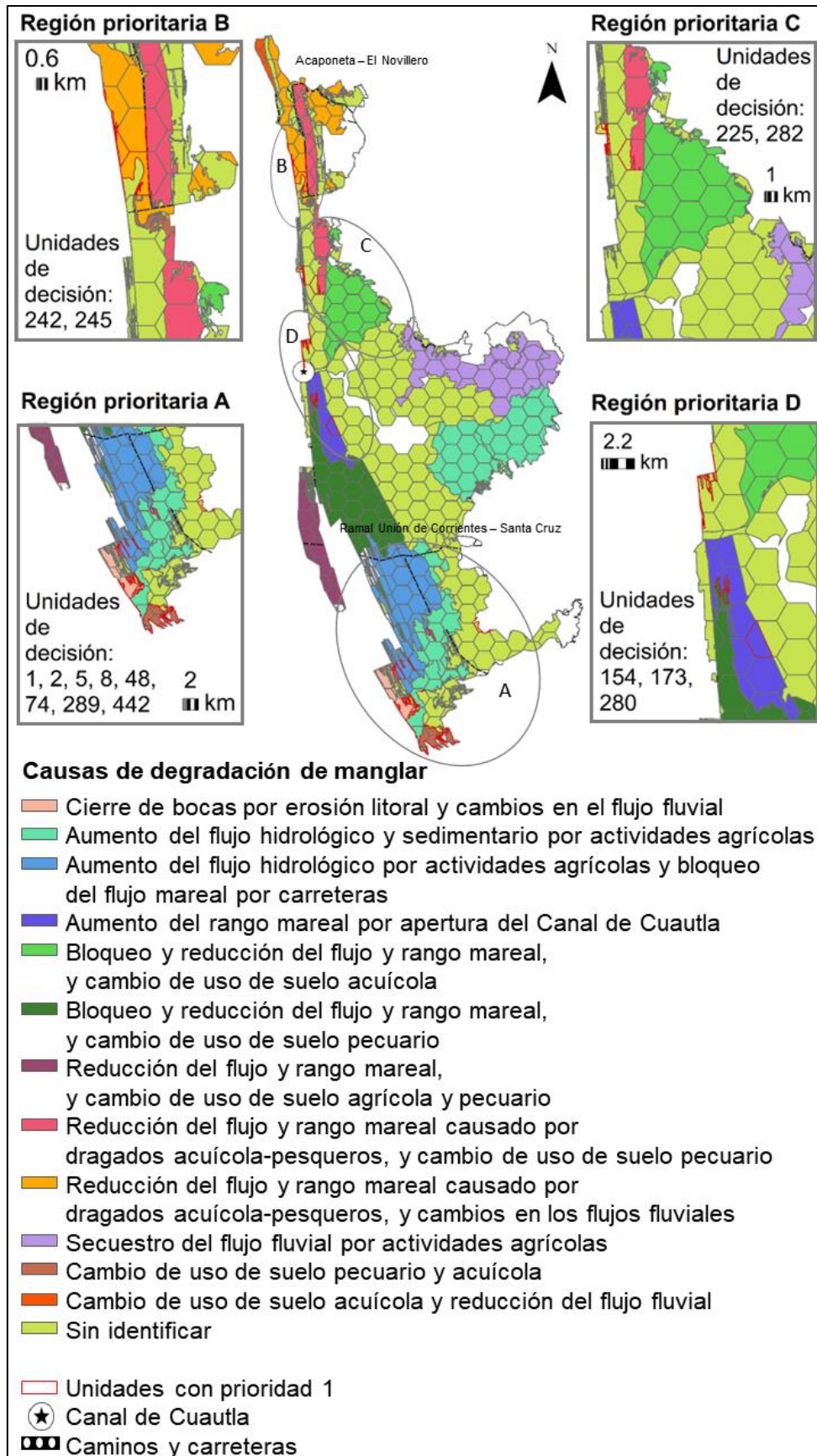


Figura 5. Causas de degradación de manglar por unidad de decisión con base en Blanco y Correa (2011).

Además de esta afectación a gran escala, el Canal de Cuautla impacta directamente una zona de alrededor de 2,590 ha al sur del Canal de Cuautla, alrededor de las cañadas situadas en los Cordones Cerrados Puerta de Palapares (Figura 5). La construcción de carreteras es otro de los factores que ha ocasionado la degradación de grandes extensiones de manglar en la RBMNN, por ejemplo, la carretera Ramal Unión de Corrientes – Santa Cruz, cruza la RBMNN de este a oeste y afecta una zona de alrededor de 9,066 ha (Figura 5).

Una parte significativa de la RBMNN se clasificó en su momento por Blanco y Correa (2011) como no degradada o fuera de un sistema mareal específico (señalada como ‘sin identificar’ en la Figura 5). En la actualidad, a través de la experiencia de los manejadores y comunidades de la RBMNN, sabemos de las actividades que, a menor escala pero de manera altamente significativa, contribuyen a la degradación del manglar en distintos parches alrededor de la RBMNN (WWF, 2022). Estas actividades incluyen el cambio de uso de suelo, incremento en las concentraciones de desechos agropecuarios y acuícolas, incremento de infraestructura incluyendo caminos rurales y embarcaderos, uso de barreras físicas semipermanentes para la captura de camarón (arte de pesca ilegal conocida como ‘tapos’), apertura ilegal de granjas de camarón y tala legal e ilegal de manglar.

En las 15 unidades de decisión con un potencial de restauración muy alto, las principales causas de degradación de manglar incluyen bloqueo del flujo mareal por carreteras y dragados acuícola-pesqueros (según información de Blanco y Correa, 2011) (Tabla 3). Cabe señalar que en Blanco y Correa (2011) no se identificaron causas de degradación para 6 de estas 15 unidades de decisión, no obstante, esta información se puede inferir al revisar las causas de degradación de sitios adyacentes (Tabla 3). Las causas de degradación en las 15 unidades de decisión con un potencial de restauración muy alto también se puede complementar con la información que se obtuvo a través de entrevistas a los manejadores de la RBMNN (WWF, 2022). Por ejemplo, la región prioritaria A ha sido principalmente afectada por la carretera Ramal Unión de Corrientes – Santa Cruz. También se llevan a cabo actividades agrícolas y pecuarias que además de cambiar el uso de suelo generan desechos agroquímicos que afectan la calidad del agua y probablemente propician la presencia de especies invasoras como la Tripa de Zopilote (*Cissus verticillata*), planta trepadora que crece sobre la copa de los manglares e impide el paso de luz (Tabla 3).

Tabla 3. Causas de degradación para las 15 unidades de decisión con una prioridad muy alta.

Principales causas de degradación por región prioritaria		Causa de degradación por unidad de decisión		Causa de degradación por ejido		Contexto social
ID	Blanco y Correa (2011)	ID	Blanco y Correa (2011)	Ejido	WWF (2022)	WWF (2022)
A	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del flujo hidrológico y sedimentario por actividades agrícolas • Aumento del flujo hidrológico por actividades agrícolas y bloqueo del flujo mareal por carreteras 	1	Cambio de uso de suelo pecuario y acuícola	Toro Mocho	Presencia de granjas de camarón, agricultura y ganadería extensiva, presencia de especies invasoras (tripa de Zopilote, carrizo, lirio), tala ilegal y contaminación por desechos agroquímicos.	Viable, aunque con poca capacidad para llevar a cabo tareas de vigilancia y planeación. CONANP ha trabajado en el área de 2010 a 2021 en la remoción de especies invasoras, desazolve y restauración hidrosedimentaria. Pronatura trabajó en 2016 en desazolvamiento de canales. CONAFOR también ha trabajado en el sitio.
		8, 74	Aumento del flujo hidrológico por actividades agrícolas y bloqueo del flujo mareal por carreteras	Mexcaltitán de Uribe y Anexos	Presencia de granjas de camarón, ganadería extensiva, presencia de especies invasoras (tripa de Zopilote, carrizo, lirio), tala ilegal, pesca ilegal (tapos) y contaminación por desechos agroquímicos.	Viable, aunque con poca capacidad para llevar a cabo tareas de vigilancia y planeación. CONANP ha trabajado en tareas de restauración de manglares en 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019. Pronatura trabajó en 2016 en desazolvamiento de canales. CONAFOR también ha trabajado en el sitio.
		2, 289	Cierre de bocas por erosión litoral y cambios en el flujo fluvial			
		5, 48, 442	Sin identificar			
B	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del flujo y rango mareal causado por dragados acuícola-pesqueros, y cambios en los flujos fluviales • Reducción del flujo y rango mareal causado por dragados acuícola-pesqueros, y cambio de uso de suelo pecuario 	242, 245	Reducción del flujo y rango mareal causado por dragados acuícola-pesqueros, y cambios en los flujos fluviales	Paso Hondo Antes Tecuala y Olitas El Viejo	Presencia de granjas de camarón, agricultura, ganadería extensiva, presencia de especies invasoras (tripa de Zopilote, carrizo, lirio), pesca ilegal (tapos) y secuestro de agua dulce y taponamiento de arroyos para para agricultura y ganadería. En la zona norte del ejido, las principales afectaciones son la carretera Tecuala-Novillero. El Huracán Rosa impacto la zona en 1994.	Viable, aunque existe historial de conflictos al interior del ejido además de poca capacidad para llevar a cabo tareas de vigilancia y planeación. CONANP ha trabajado previamente en proyectos de restauración de manglares.

C	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del flujo y rango mareal causado por dragados acuícola-pesqueros, y cambio de uso de suelo pecuario Bloqueo y reducción del flujo y rango mareal, y cambio de uso de suelo agrícola 	225	Sin identificar	Los Morillos	<p>Presencia de agricultura, ganadería extensiva, presencia de especies invasoras (tripa de Zopilote, carrizo, lirio), tala ilegal y secuestro de agua dulce y taponamiento de arroyos para para agricultura y ganadería.</p> <p>Existen varios canales azolvados después del impacto de huracanes. Los impactos más importantes en el ejido son causados por falta de regulación de la ganadería extensiva.</p>	<p>Viable, aunque con poca capacidad para llevar a cabo tareas de vigilancia y planeación. CONANP trabajó en tareas de restauración de manglares en 2019 y 2022. Pronatura lleva a cabo un programa de mejora pesquera en 2022. CONAFOR también ha trabajado en el sitio.</p>
		282	Sin identificar	El Novillero	<p>Presencia de granjas de camarón, agricultura y ganadería extensiva. La transformación a granjas de camarón causa los mayores impactos en el ejido.</p>	<p>Viable. CONANP ha trabajado en tareas de restauración de manglares en la zona norte del ejido de 2016 a 2020.</p>
D	<ul style="list-style-type: none"> Aumento del rango mareal por apertura del Canal de Cuautla 	154	Aumento del rango mareal por apertura del Canal de Cuautla	Santa Cruz y Puerta de Palapares	<p>Presencia de granjas de camarón, agricultura, ganadería extensiva, tala ilegal, pesca ilegal (tapos). Degradación de manglar por el camino Santa Cruz – Puerta de Palapares.</p> <p>Existen alrededor de 12km de canales azolvados después del impacto de huracanes y hay desarrollo de granjas de camarón ilegales.</p>	<p>Viable, aunque existe historial de conflictos al interior del ejido. CONANP trabajó en tareas de restauración de manglares de 2010 a 2013, 2018 y 2020. Pronatura lleva a cabo un programa de mejora pesquera en 2022. CONAFOR también ha trabajado en el sitio.</p>
		173	Bloqueo y reducción del flujo y rango mareal, y cambio de uso de suelo pecuario		<p>Tala ilegal.</p> <p>La principal afectación es causada por el Canal de Cuautla.</p>	
		280	Sin identificar	Palmar de Cuautla		

Para diseñar una estrategia viable de restauración de manglar es fundamental considerar a las comunidades que viven dentro de la RBMNN (Teutli-Hernández et al., 2021). Las 15 unidades de decisión con un potencial de restauración 'muy alto' se encuentran dentro de 7 ejidos, que incluyen Toro Mocho, Mexcaltitán de Uribe, Paso Hondo, Los Morillos, El Novillero, Santa Cruz y Palmar de Cuautla (Figura 6). Dentro de los ejidos existen condiciones sociales que pueden dificultar la implementación y el éxito de acciones de restauración. Por ejemplo, conflictos al interior de los ejidos o incidencia de actividades ilegales como la creación de granjas de camarón y la tala ilegal de manglar (Tabla 3). No obstante, la CONANP, CONAFOR y Pronatura han trabajado con los comisariados ejidales y el resto de la comunidad dentro de estos 7 ejidos en actividades de restauración hidrológica, monitoreo y mejora en el uso y aprovechamiento de los recursos naturales. El historial de colaboración entre distintas instituciones y la comunidad prueba que se pueden llevar a cabo actividades de restauración de manera exitosa siempre y cuando exista diálogo y respeto hacia los intereses de la comunidad y se lleguen a acuerdos que beneficien tanto a las poblaciones como al ecosistema de manglar.

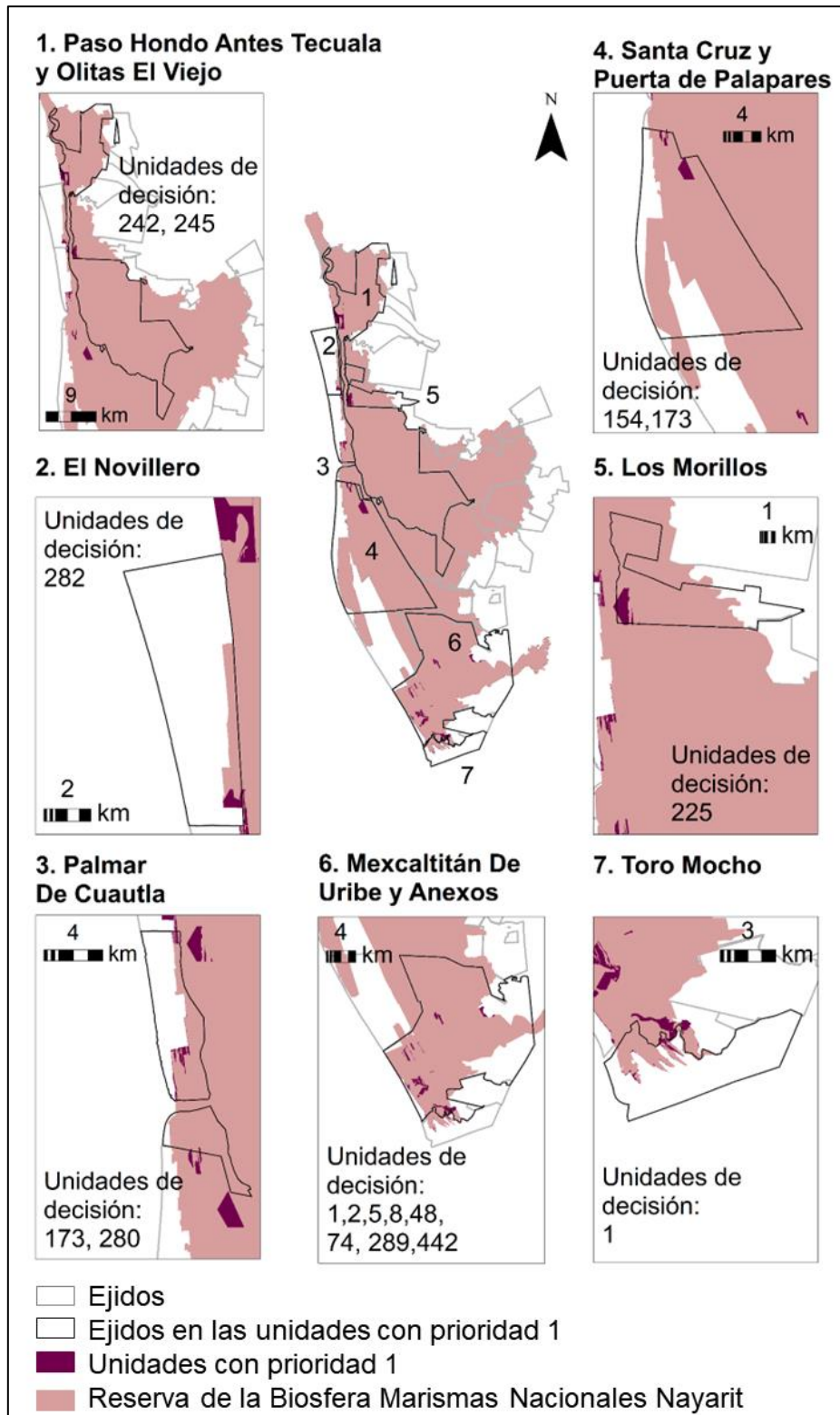


Figura 6. Localización de los ejidos en donde se encuentran las 15 unidades de decisión con una prioridad muy alta.

5. Comentarios finales

En este estudio se identificaron sitios prioritarios para la restauración de manglar dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN). Los 468 sitios analizados comprenden toda la superficie de manglar degradado (22,958 ha) dentro de la RBMNN. La necesidad de priorizar sitios en donde la restauración puede ser más exitosa (i.e., mayor potencial de restauración) surge de las limitantes de recursos humanos, tecnológicos, económicos y temporales disponibles para poder atender el total de la superficie degradada bajo un mismo proyecto.

Describimos las condiciones biofísicas existentes que favorecen el restablecimiento natural de manglares en los 15 sitios con el potencial de restauración de manglar 'muy alto', y los comparamos con los sitios con un potencial de restauración 'bajo'. También describimos las causas de degradación para estos 15 sitios y el contexto social de los ejidos en los que se encuentran. Esta información brinda un panorama general sobre la factibilidad de implementar acciones de restauración en diferentes sitios con base al historial de colaboración de las comunidades ejidatarias con otras instancias de gobierno. Sin embargo, es necesario generar estrategias de implementación específicas para cada sitio en donde se establezcan diálogos directos con las comunidades y se promueva cómo la restauración de manglar puede convenir a sus intereses productivos.

De los 15 sitios con potencial de restauración muy alto, 8 se encuentran dentro de la región prioritaria A, de estas, las unidades 2, 5 y 442 obtuvieron el potencial de restauración más alto del total de los 453 sitios analizados. La región prioritaria A se encuentra primordialmente dentro de los límites del ejido Mexcaltitán de Uribe y Anexos. En esta zona existe un historial importante de trabajo entre las comunidades e instituciones como la CONANP, CONAFOR y Pronatura, lo que puede representar una oportunidad para focalizar esfuerzos de restauración en esta zona. Además, este ejido tiene una presencia turística alta debido a la existencia de la isla artificial Mexcaltitán, que en 2020 recuperó su designación como Pueblo Mágico por la Secretaría de Turismo. El interés por incrementar el turismo en la zona puede verse como una ventana de oportunidad para focalizar, incrementar y dar continuidad a los esfuerzos de restauración que pudieran llevarse a cabo en este sitio. De tal manera

que los esfuerzos de restauración también se vean como una oportunidad para mejorar la experiencia de los visitantes y se puedan promover actividades de turismo sustentable.

Anexo a este reporte se puede encontrar la información sobre el rango de prioridad, valores de los indicadores que integraron el potencial de restauración, causas de degradación y contexto social para el resto de los 453 sitios que no se describen a detalle en este reporte. Esta información puede informar sitios prioritarios en proyectos de restauración subsecuentes.

Finalmente, es importante señalar que en la elaboración de este análisis de priorización se utilizó la mejor información espacial disponible a una resolución pertinente para la RBMNN y con base en la literatura científica sobre la ecología del manglar. Sin embargo, sin duda alguna el análisis se podría actualizar si en el futuro los productos espaciales que se utilizaron como información base mejoran en resolución y calidad. Así mismo, la información que se utilizó nos permite entender las condiciones históricas y actuales que favorecen la restauración de manglar, sin embargo, no contamos con modelos que nos permitan predecir respuestas del sistema bajo futuros escenarios de cambio climático, impacto de huracanes o cambios en la hidrología y distribución de sedimentos dentro de la RBMNN. Probablemente, una de las más grandes amenazas para la RBMNN es la posible construcción de la presa hidroeléctrica Las Cruces en el Río San Pedro Mezquital, que tendría impactos catastróficos en todo el sistema de Marismas Nacionales. El aporte de sedimentos que brindan los ríos libres de presas hidroeléctricas es crucial para que los manglares puedan mantener su elevación por encima de las mareas y evitar ser inundados más allá de los límites que pueden tolerar. Esta característica es aún más importante si consideramos que el aumento en el nivel del mar es inminente (Lovelock et al., 2015).

6. Referencias

- Blanco y Correa, M. (Ed.). (2011). *Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales*. Universidad Autónoma de Nayarit y la Comisión Nacional Forestal con el patrocinio del Gobierno del Reino Unido.
- Godoy, M. D., & de Lacerda, L. D. (2015). *Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution*. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520150055>
- Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Friess, D. A., Guntenspergen, G. R., Krauss, K. W., Reef, R., Rogers, K., Saunders, M. L., Sidik, F., Swales, A., Saintilan, N., Thuyen, L. X., & Triet, T. (2015). The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, 526(7574), 559–563. <https://doi.org/10.1038/nature15538>
- Ramírez-García, P., López-Blanco, J., & Ocaña, D. (1998). *Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery*. 105, 217–229.
- Snyder, R., Andradi-Brown, D., & Bartlett, R. (2021). *Climate-smart mangrove conservation*. WWF US.
- Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J., Cisneros-de la Cruz, D., Arceo-Carranza, D., Canul-Cabrera, A., Robles-Toral, P. J., Pérez-Martínez, O., Sierra-Oramas, D., Zenteno, K., UsBalam, H., Pech-Poot, E., Chiappa-Carrara, X., & Comín, F. A. (2021). *Manual for the ecological restoration of mangroves in the Mesoamerican Reef System and the Wider Caribbean*. Integrated Ridge-to-Reef Management of the Mesoamerican Reef Ecoregion Project - MAR2R, UNEP-Cartagena Convention, Mesoamerican Reef Fund.
- WWF. (2022). *Matriz de identificación de sitios de restauración*. WWF México.

Anexo 1 – Proceso de colaboración interinstitucional

1.1. Contexto

En una primera sesión en febrero de 2022 se comenzaron diálogos para definir las líneas de trabajo en la colaboración Griffith University – WWF México. En dicha sesión se identificó la necesidad de realizar un análisis robusto para la priorización de zonas de restauración para la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN). Dicho análisis debería integrar factores biofísicos y sociales que determinan el éxito de acciones de restauración, incluyendo las respuestas del sistema al cambio climático. Para responder a dicha necesidad, se generó un plan de trabajo para llevar a cabo un análisis de priorización espacial basado en la teoría de la decisión, que se refiere a una metodología para poder llevar a cabo decisiones de manera sistemática, transparente y repetible (Hemming et al., 2022; Possingham et al., 2001). Dicho plan de trabajo consistió en cinco etapas que incluyeron: 1) definir el contexto para la toma de decisiones en la RBMNN, 2) procesamiento de datos y análisis, 3) presentación de resultados preliminares, 4) escribir reporte final, y 5) sintetizar información en formato para publicación científica (Figura 1).



Figura 1. Cinco etapas de trabajo en la colaboración con WWF-México.

1.2. Definir el problema de decisión

La etapa 1 ‘definir el problema de decisión’ se refiere a la aplicación de un proceso sistemático donde los miembros del equipo identifican el contexto de la decisión, el tipo de decisión a tomar y los recursos disponibles para tomar una decisión (Hemming et al., 2022). Esta etapa está basada en los fundamentos de la teoría de la decisión, la cual describe una metodología para tomar decisiones informadas, transparentes, defendibles y con una mayor posibilidad de lograr los resultados deseados (Possingham et al., 2001). La teoría de la decisión también permite tomar decisiones que involucran diferentes valores, objetivos contrapuestos e incertidumbre (Hemming et al., 2022).

Para identificar dónde y cómo aplicar acciones de restauración de manglares en la RBMNN seguimos la metodología descrita en Hemming et al., (2022) para definir un problema de decisión. Definir el problema de decisión involucra las siguientes fases: 1) entender el contexto de la decisión, 2) identificar objetivos, 3) identificar acciones para alcanzar objetivos, 4) modelo conceptual que defina como las acciones van a lograr los objetivos, 5) identificar los costos de las acciones, 6) identificar las limitantes de la decisión. Para ello organizamos una serie de talleres interactivos ‘Restauración en Marismas Nacionales’, los cuales se llevaron a cabo en línea a través de ZOOM y la plataforma interactiva MURAL durante el mes de marzo 2022. En dichos talleres, representantes de diferentes instituciones que trabajan en la RBMNN participaron para definir en conjunto el problema de decisión. La dinámica consistió en que todos los miembros del equipo respondieran a una serie de preguntas guía (e.g., ¿Cuál es la escala espacial y temporal de la decisión?) que ayudaron a formar un consenso sobre los recursos disponibles y objetivos que se intentan alcanzar a través de la restauración de manglar en la RBMNN (Tabla 1). Las preguntas guía fueron obtenidas de Hemming et al., (2022). Los Murales que se generaron en estos talleres pueden encontrarse en versión .pdf en el folder ‘Datos’ asociado a este reporte.

El listado completo de los asistentes al taller incluyó:

WWF México Pilar Jacobo, Eduardo Najera, Coral Mascote, Anuar Martínez, Jaime Villarreal, Ricardo Dominguez Varela, Ixchel López

TNC México Yves C. Paiz, Rubén Pérez Peña Sanchez

CONANP Víctor Hugo Vázquez Moran, Hugo Valadez Virgen, Oscar Gerardo Rosas

CINVESTAV Jorge Herrera-Silveira

ENES Mérida - UNAM Claudia Teutli

Griffith University Jaramar Villarreal-Rosas, María Fernanda Adame

Tabla 1. Preguntas guía para definir el problema de decisión

Fases	Preguntas guía	Notas aclaratorias
Entender el contexto de la decisión y que tipo de decisión se tiene que tomar	¿Qué se necesita decidir?	Frase que describa la decisión que se tiene que tomar.
	¿Qué planes de trabajo están detrás de la decisión?	Objetivos internos WWF/México, plan de manejo de CONANP, acuerdos con donadores, etc
	¿Por qué no se ha tomado la decisión?, ¿Qué está previniendo que se tome la decisión?	Tiempo, presupuesto, razones técnicas, información (qué tipo de información).
	¿Quién necesita estar involucrado?	¿Sólo WWF-México? (Si - lista de colegas que deberían atender las juntas)

	¿Quiénes van a tomar la decisión? y ¿Cuál es su autoridad?	¿Otras comunidades, stakeholders?																														
	¿Cuál es la escala espacial y temporal de la decisión?	Delimitación del área de estudio. ¿Sólo el área protegida? ¿Zonas específicas dentro del área protegida? Otras zonas que no se hayan considerado pero que potencialmente pueden ser consideradas ¿Otras zonas fuera el área protegida?																														
	¿Cuáles son las principales fuentes de incertidumbre?	<ul style="list-style-type: none"> • Ecología del manglar (viabilidad) • Cambio climático (tormentas tropicales, aumento del nivel del mar (espacio para que los manglares se muevan) • Geología/hidrología (flujos de sedimentos, mareas) • Amenazas (deforestación – desarrollo urbano, acuacultura, agricultura) • Políticos (regulaciones y políticas) • Comunidad (valores, usos, aceptación) 																														
	¿Para cuándo se necesita una decisión?	Fechas																														
	¿Cuál es el contexto legal y regulatorio que guía la decisión?	Planes de manejo u otras normativas que regulen el área protegida. ¿La decisión es independiente a otros planes de manejo, jurisdicciones, regulaciones, usos privados o públicos? Si el caso de estudio esta fuera de la jurisdicción del área protegida, ¿bajo que regulaciones se encuentran esas zonas?																														
	¿Qué recursos están disponibles para investigar, implementar y monitorear la decisión?	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos humanos, materiales, económicos. • Presupuesto para la restauración. • Presupuesto para monitoreo. 																														
	¿Qué entregable es necesario?	Un mapa, un reporte, etc.																														
	¿Qué métodos analíticos y herramientas pueden ser útiles?	Análisis multicriterio, priorización espacial, árbol de decisión, etc.																														
Identificar objetivos e indicadores	<p>¿Qué se quiere lograr? *diferenciar objetivos finales de objetivos intermediarios (el objetivo no es plantar manglar, sino recuperar ha de manglar)</p> <p>¿Cómo vamos a medir los objetivos?</p>	<p>Identificación preliminar de objetivos. Incluyendo todo lo que nos importe en la decisión.</p> <p>Ejemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maximizar persistencia de la(s) especie(s) – ha • Maximizar cobertura de manglar – ha • Maximizar aceptación social – índice • Minimizar costos - \$ • Maximizar servicios del ecosistema -¿ • Maximizar beneficio a comunidades más vulnerables – índice • Minimizar incertidumbre – probabilidad de éxito 																														
Identificar acciones para alcanzar objetivos	¿Cómo vamos a alcanzar los objetivos?	Restaurar, proteger, erradicar, trabajos de ingeniería, mejorar políticas, vigilancia, incrementar el tamaño del área protegida, régimen hidrológico, cambio de uso de suelo en la cuenca, etc.																														
Modelo conceptual que describa cómo las acciones van a lograr los objetivos	Tabla de consecuencia	<p>Ejemplo:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sitio</th> <th>Acción</th> <th>Manglar (ha)</th> <th>Factibilidad</th> <th>Aceptación social</th> <th>Costo (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Erradicar</td> <td>50</td> <td>Baja</td> <td>Alta</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Plantar</td> <td>100</td> <td>Alta</td> <td>Baja</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Erradicar</td> <td>70</td> <td>Baja</td> <td>Media</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Plantar</td> <td>80</td> <td>Alta</td> <td>Baja</td> <td>400</td> </tr> </tbody> </table>	Sitio	Acción	Manglar (ha)	Factibilidad	Aceptación social	Costo (\$)	1	Erradicar	50	Baja	Alta	100	1	Plantar	100	Alta	Baja	800	2	Erradicar	70	Baja	Media	600	3	Plantar	80	Alta	Baja	400
Sitio	Acción	Manglar (ha)	Factibilidad	Aceptación social	Costo (\$)																											
1	Erradicar	50	Baja	Alta	100																											
1	Plantar	100	Alta	Baja	800																											
2	Erradicar	70	Baja	Media	600																											
3	Plantar	80	Alta	Baja	400																											
Identificar los costos de las acciones	<p>¿Cuánto cuesta realizar las acciones?</p> <p>¿Qué tipo de costos?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos humanos, recursos materiales, adquirir tierra. • Costos monetarios, sociales. 																														

Identificar las limitantes de la decisión	¿Qué factores determinan qué acciones y en qué lugares se pueden implementar?	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de incertidumbre (probabilidad de éxito) • Objetivos específicos (expresión cuantitativa) • Presupuesto • Usos de suelo actuales, factibilidad de áreas, factibilidad de acciones, otras limitantes sociales
---	---	---

Como resultado del taller se llegó al siguiente consenso que define el problema de decisión en el que se basó la priorización de acciones de restauración en la RBMNN:

- a) **Qué queremos decidir.** Identificar los mejores sitios y actividades para la restauración de manglares en la RBMNN. Los resultados (sitios prioritarios) servirán como referencia para focalizar esfuerzos de restauración promovidos por diferentes instituciones de conservación e investigación en el área, incluyendo WWF, TNC, CONANP, CINVESTAV, ENES-UNAM, CONAFOR, CONABIO.
- b) **Escala temporal y espacial de la decisión.** Los sitios de restauración potenciales se encontrarán dentro de los límites del ANP (incluyendo zona núcleo y de amortiguamiento = 133 000 ha, excluyendo la zona de influencia y sitio RAMSAR), aunque consideraremos la hidrología de dichos sitios a una escala de cuenca. Identificación de sitios prioritarios en ~4 meses. La implementación se tiene contemplada entre 2022-2024 y existen recursos materiales y humanos para llevar a cabo acciones de monitoreo por lo menos ~3 años.
- c) **Metodología.** Priorización a través de una optimización espacial. Una optimización permite identificar aquellos sitios que cumplen con todos los objetivos (biofísicos, sociales, económicos) que queremos lograr de la manera más eficiente posible (Moilanen et al., 2009).
- d) **Entregable.** Reporte que incluya un mapa ilustrando los sitios prioritarios, estrategia de restauración por sitio, beneficios biofísicos y sociales esperados.
- e) **Objetivos e indicadores.**
 - Mayores beneficios ecológicos
 - ha de manglar, ¿especies en específico?
 - biomasa o diversidad de otros grupos faunísticos
 - calidad de agua
 - superficie restaurada
 - Mayores beneficios sociales
 - actividades productivas (pesquerías camarón, robalo, pargo, ostión, jaiba, moya)
 - reducción de la vulnerabilidad a tormentas e inundaciones
 - Menor incertidumbre
 - mayor resiliencia al aumento en el nivel del mar y respuesta a huracanes
 - mejor dinámica hidro-sedimentaria (extracción y contaminación)
 - menor probabilidad de deforestación y cambio de uso de suelo a granjas camarónícolas (cuales son los sitios más probables donde van a construir granjas)
 - Mayor viabilidad social
 - tenencia de la tierra y anuencia de la asamblea de ejidatarios
 - Menores costos
 - basado en las acciones de restauración
- f) **Unidades de decisión.** 53 cuencas mareales de Blanco y Correa (2011), las cuales constituyen unidades homogéneas para análisis biofísicos. Luego incorporar núcleos agrarios para la parte social.
- g) **Acciones.** No se definieron durante el taller.

Anexo 2 - Procesamiento de datos y análisis de priorización espacial

2.1. Análisis de priorización espacial

El análisis de priorización espacial está dividido en tres etapas: 1) definir el problema de decisión, 2) obtención de datos espaciales y preprocesamiento, y 3) uso de optimización para resolver el problema de decisión.

2.1.1. Definir el problema de decisión

Los criterios que conformaron el problema de decisión final (Tabla 2) para encontrar sitios prioritarios para la restauración en la RBMNN fueron definidos con base en los consensos alcanzados durante los talleres de marzo 2020 descritos en el Anexo 1 y la disponibilidad de información espacial a una escala y resolución pertinente para la RBMNN.

Tabla 2. Problema de decisión final

Componente	Descripción
Objetivos	<ol style="list-style-type: none">1) Mayor potencial de restauración de manglar considerando las condiciones biofísicas que favorecen el restablecimiento natural de manglares.2) Mayor aptitud del territorio a la provisión de servicios del ecosistema (i.e., pesca y turismo) pues son actividades compatibles con la restauración de manglar.3) Menor aptitud del territorio al desarrollo de actividades productivas (i.e., agricultura, ganadería, acuicultura) pues son actividades que pueden dificultar la restauración de manglar.
Acciones	Identificación de sitios y motivos de degradación de manglar por actividades de origen antropogénico. Basada en el diagnóstico funcional de Blanco y Correa (2011) y entrevistas que realizó el equipo de WWF México a representantes de instituciones gubernamentales que trabajan en la RBMNN (CONANP, CONAFOR, PRONATURA) durante agosto 2022.
Limitantes	Área total seleccionada, con la lógica que mientras más área se seleccione más costosa será la implementación,
Unidades de decisión	468 unidades de decisión con un área promedio de 200 ha, mínimo 41, máximo 534 ha.

2.1.2. Obtención de datos espaciales y preprocesamiento

Se desarrollaron capas espaciales para cada uno de los componentes del problema de decisión (Tabla 2). La información de base se recopiló a través de bases de datos de libre acceso y datos que aportaron WWF México y TNC México. Las fuentes de información y el preprocesamiento para cada uno de los componentes del problema de decisión se describen a continuación. Todo el procesamiento de datos se realizó en ArcGIS 10.8, ArcGIS Pro 3.0,

y R 4.2.1. Todas las capas espaciales están georreferenciadas usando GCS-Mexico-2008 y proyectadas con UTM 13N. Todas las capas espaciales se pueden encontrar en la geodatabase asociada a este reporte, en el folder 'Datos'.

2.1.2.1. Objetivos

- 1) *Mayor potencial de restauración de manglar considerando las condiciones biofísicas que favorecen el restablecimiento natural de manglares*

El potencial de restauración está representado por cinco diferentes factores (Tabla 3) que describen condiciones biofísicas que favorecen el restablecimiento natural de manglares considerando el aumento en el nivel del mar.

Tabla 3. Factores que se consideraron para evaluar el potencial de restauración de manglar considerando el aumento en el nivel del mar.

Objetivo	Premisa basada en literatura y referencia	Procesamiento espacial y referencias	Capa espacial e indicador
Mayor prioridad a aquellos sitios con mayor superficie de manglar en estados de degradación intermedia y alta.	Restaurar los sitios en donde los manglares tienen un nivel de degradación muy alta (i.e., manglar muerto) van a ser más costosos y van a tomar más tiempo en recuperarse, por lo tanto el potencial de restauración es mayor en sitios con mayor superficie de manglar en estados de degradación intermedia y alta (Marois & Mitsch, 2017).	Las bases de datos espaciales de Blanco y Correa (2011), CONABIO (2021a) y WWF (2022a) se consolidaron para generar la 'Capa de manglar degradado', la cual indica cuatro niveles de degradación: bajo, medio, alto y muy alto. Los niveles bajo, medio y alto se identificaron utilizando la 'Capa de 'degradación' de (WWF, 2022a), en la cual los niveles de degradación representan la intensidad en la disminución de NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) más allá de las fluctuaciones naturales. El nivel de degradación 'muy alto' se identificó utilizando la capa de 'Cobertura de manglar perturbado' de CONABIO (2021b) y 'Manglar deteriorado' de Blanco y Correa (2011). La 'Cobertura de manglar perturbado' incluye parches de árboles y/o arbustos de manglar muerto o en regeneración y cubierta forestal perturbada por huracanes, tormentas, ciclones y por la construcción de infraestructura hidráulica, carreteras y caminos	'Capa de manglar degradado' Ha de manglar con un nivel de degradación media y alta.

		(CONABIO, 2021b). La capa 'Manglar deteriorado' muestra áreas con deterioro grave de manglar incluyendo muertes masivas (Blanco y Correa 2011). Se dio preferencia a la capa de WWF (2022a) sobre Blanco y Correa (2011) y CONABIO (2021b) en los casos de superposición. (Blanco y Correa, 2011; CONABIO, 2021b; WWF, 2022a)	
Mayor prioridad a aquellos sitios en donde el manglar murió más recientemente.	Restaurar los sitios en donde los manglares murieron hace más de 50 años van a ser muy costosos, van a tomar más tiempo para recuperarse y pueden no recuperarse, por lo tanto el potencial de restauración es mayor en los sitios en donde el manglar murió recientemente (Marois & Mitsch, 2017; Worthington & Spalding, 2018).	El periodo en el cual el manglar murió se identificó utilizando las capas de 'Extensión de manglar' de CONABIO en los siguientes periodos: 1970-80 a 2005, 2005 a 2010, 2010 a 2015, 2015 a 2020. (CONABIO, 2013c, 2013b, 2013a, 2016, 2021a)	'Capa periodo de cambio de manglar' Periodo en el que el manglar murió considerando las pérdidas y ganancias de manglar por cada periodo de cambio.
Mayor prioridad a aquellos sitios rodeados con la mayor extensión de manglar saludable.	Restaurar los sitios que están rodeados de mayores superficies de manglar saludable tienen mayor potencial de restauración pues dichas superficies de manglar saludable aportarán semillas y propágulos a los sitios de restauración. La deposición de propágulos a nuevos sitios disminuye después de 2 km o más de los sitios fuente (Sengupta et al., 2005).	La 'Capa de manglar saludable' fue elaborada a partir de la capa de 'Cobertura total de manglar en 2020' (WWF 2022) y la categoría de degradación 'baja' de la 'Capa de manglar degradado'. La capa de manglar saludable incluye un buffer de 5km a partir de los límites del polígono de la RBMNN puesto que las semillas y propágulos pueden ser transportadas incluso fuera de los límites de la RBMNN. (Blanco y Correa, 2011; WWF, 2022a)	'Capa de manglar saludable' Ha de manglar saludable.
Menor prioridad a aquellos sitios que han estado expuestos a inundaciones.	Restaurar los sitios que en los últimos 37 años han estado expuestos a inundaciones o el nivel de inundación ha aumentado tienen un menor potencial de restauración pues puede afectar el establecimiento de propágulos y desarrollo de plántulas (Teutli-Hernández et al., 2021).	La capa de extensión total inundada se extrajo de Pekel et al. (2016). Dicha capa representa la ocurrencia, cambio en la ocurrencia, intensidad, periodicidad, recurrencia, y transiciones de cuerpos de agua en un periodo de 37 años (1984-2020). (Pekel et al., 2016), updated to 2020	'Capa de extensión total inundada' Extensión total inundada en los últimos 37 años.
Mayor prioridad a aquellos sitios que están rodeados de áreas disponibles	Restaurar los sitios que están rodeados de mayor área disponible para migrar (e.g., marismas, salinas, planicies costeras,	El área disponible para la migración de manglar se identificó utilizando la capa de 'Vegetación asociada a manglar' de CONABIO	'Capa de área disponible para la migración de manglar' Ha de área disponible para la migración de manglar.

para la migración de manglar.	sin infraestructura urbana, y sin usos de suelo productivos) tienen mayor potencial de restauración, pues los manglares pueden desplazarse a nuevos sitios como respuesta al aumento en el nivel del mar (Godoy & de Lacerda, 2015; McLeod & Salm, 2006; Rogers, 2021). Registros en Florida muestran que <i>Rhizophora mangle</i> se ha desplazado más de 1km colonizando áreas que antes estaban cubiertas por marismas (Godoy & de Lacerda, 2015).	(2021). De dicha capa, se consideraron las clases 'otra vegetación, otros humedales y sin vegetación' como el área disponible para migrar. (CONABIO, 2021c)	
-------------------------------	---	--	--

2) Modelos de aptitud del territorio a la provisión de servicios del ecosistema y actividades productivas

Los modelos sobre la aptitud del territorio para la provisión de servicios del ecosistema y actividades productivas (Tabla 4) fueron obtenidos de Flores Uribe (2018). Estos modelos fueron construidos como parte del proceso de 'Planificación Espacial Costero Marina en Marismas Nacionales' dirigido por The Nature Conservancy, México. Los modelos fueron construidos usando la metodología de combinación lineal ponderada con funciones de utilidad (Flores Uribe, 2018; SEMARNAT, 2003).

Tabla 4. Descripción general de los modelos de aptitud del territorio para la provisión de servicios del ecosistema y actividades productivas. Para detalles técnicos consultar Flores Uribe (2018).

Modelo	Descripción
Actividades compatibles con la restauración de manglar	
Pesca	Mayor aptitud en aquellos sitios con mayor proximidad a cuerpos de agua superficial, excelente demanda bioquímica de oxígeno, la cobertura vegetal es mangle, popal, tular o cuerpos de agua y proximidad a carreteras y terracerías menor a 100 metros.
Turismo	Mayor aptitud en aquellos sitios a una distancia menor a 2km, con mayor índice de infraestructura turística, proximidad a carreteras y terracerías menor a 3km, la cobertura vegetal es mangle, selva, bosque o cuerpos de agua.
Actividades que pueden dañar los esfuerzos de restauración	
Agricultura	Mayor aptitud en donde el suelo no ha sido erosionado, proximidad a carreteras y terracerías es menor a 1km, la pendiente es de 0 a 5 grados, la proximidad a cuerpos de agua es menor a 300 metros, el uso de suelo es agrícola, el tipo de suelo es luvisol.
Ganadería	Mayor aptitud en donde el suelo no ha sido erosionado, proximidad a carreteras y terracerías entre 1 y 1.5 km, la proximidad a cuerpos de agua es menor a 1.5 km, el uso de suelo es pastizal inducido, el tipo de suelo es acrisol, fozem o luvisol.
Acuicultura	Mayor aptitud en donde la pendiente es de 0 a 5 grados, la proximidad a carreteras y terracerías es menor a 500 m, la demanda bioquímica de oxígeno es excelente, el tipo de suelo es acrisol, fozem o luvisol, el tipo de suelo es solonchak o gleysol, el uso de suelo es acuícola y la proximidad a cuerpos de agua es menor a 50m.

2.1.2.2. Acciones

Se recopiló información a nivel espacial sobre los diferentes factores antropogénicos que ocasionan la degradación de manglar en la RBMNN. Las dos fuentes de información que se utilizaron fueron el Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales (Blanco y Correa, 2011) y entrevistas a miembros de CONAFOR, CONANP y Pronatura realizadas por el equipo de WWF México (WWF, 2022b) (Tabla 5).

Tabla 5. Fuentes de información usadas para identificar espacialmente las causas de degradación de manglar dentro de la RBMNN

Descripción de la información	Escala espacial	Fuente																								
<p>'Capa sistemas mareales'</p> <p>16 categorías de estimación del deterioro, desarrolladas a partir de observaciones de campo, fotografías aéreas y comentarios de las comunidades que viven en el manglar:</p> <p>1. Deterioro mínimo, 2. Deterioro Sedimentario de Esteros, 3. Deterioro por Bloqueo de Flujo Fluvial Sedimentario, 4. Deterioro por Aumento de Flujo Fluvial Sedimentario, 5. Deterioro por Aumento del Flujo Fluvial, 6. Deterioro por Aumento del Flujo y Rango Mareal, 7. Deterioro por Retraso del Flujo y Rango Mareal, 8. Aislamiento Hidrológico, 9. Deterioro por Secuestro Fluvial, 10. Deterioro por Reducción del Flujo y Rango Mareal, 11. Muerte Masiva de Manglares, 12. Cambio de uso de suelo Acuícola, 14. Cambio de uso de suelo Pecuario, 14. Cambio de uso de suelo Agrícola, 15. Cambio de uso de suelo Urbano, 16. Destrucción del hábitat.</p>	Sistemas mareales	Blanco y Correa (2011)																								
<p>'Capa contexto social por ejido' y 'matriz_criterios_por_ejido.csv'</p> <p>Información sobre las experiencias que manejadores en la RBMNN tienen sobre los conflictos sociales, historial de participación en programas de protección ambiental, viabilidad social y causas de degradación de manglar.</p> <p>El archivo .shp y .csv comparten los siguientes campos, el archivo .csv además contiene notas aclaratorias para cada ejido.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Nombre del ejido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conflictos</td> <td>Si en el ejido existen conflictos internos</td> </tr> <tr> <td>Falta_de_c</td> <td>Si en el ejido existe falta de planeación y vigilancia</td> </tr> <tr> <td>CONAFOR</td> <td>Si CONAFOR ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido</td> </tr> <tr> <td>CONANP</td> <td>Si CONANP ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido</td> </tr> <tr> <td>PRONATURA</td> <td>Si PRONATURA ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido</td> </tr> <tr> <td>PSA</td> <td>Si el ejido ha sido beneficiario de programas de servicios ambientales</td> </tr> <tr> <td>Mejora_pes</td> <td>Si el ejido ha sido beneficiario de programas de mejora pesquera</td> </tr> <tr> <td>Viabilidad</td> <td>Si se considera que existe viabilidad social para realizar actividades de restauración en el ejido</td> </tr> <tr> <td>Granjas_de</td> <td>Si se reportan granjas camaronicolas</td> </tr> <tr> <td>Agricultur</td> <td>Si se reporta uso de suelo agrícola</td> </tr> <tr> <td>Ganadería</td> <td>Si se reporta ganadería</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Nombre del ejido	Conflictos	Si en el ejido existen conflictos internos	Falta_de_c	Si en el ejido existe falta de planeación y vigilancia	CONAFOR	Si CONAFOR ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido	CONANP	Si CONANP ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido	PRONATURA	Si PRONATURA ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido	PSA	Si el ejido ha sido beneficiario de programas de servicios ambientales	Mejora_pes	Si el ejido ha sido beneficiario de programas de mejora pesquera	Viabilidad	Si se considera que existe viabilidad social para realizar actividades de restauración en el ejido	Granjas_de	Si se reportan granjas camaronicolas	Agricultur	Si se reporta uso de suelo agrícola	Ganadería	Si se reporta ganadería	Ejidos	WWF (2022)
Name	Nombre del ejido																									
Conflictos	Si en el ejido existen conflictos internos																									
Falta_de_c	Si en el ejido existe falta de planeación y vigilancia																									
CONAFOR	Si CONAFOR ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido																									
CONANP	Si CONANP ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido																									
PRONATURA	Si PRONATURA ha implementado proyectos de restauración en conjunto con el ejido																									
PSA	Si el ejido ha sido beneficiario de programas de servicios ambientales																									
Mejora_pes	Si el ejido ha sido beneficiario de programas de mejora pesquera																									
Viabilidad	Si se considera que existe viabilidad social para realizar actividades de restauración en el ejido																									
Granjas_de	Si se reportan granjas camaronicolas																									
Agricultur	Si se reporta uso de suelo agrícola																									
Ganadería	Si se reporta ganadería																									

Canal_de_C	Si el manglar ha sido afectado por el Canal de Cuautla		
Carreteras	Si el manglar ha sido afectado por carreteras y caminos rurales		
Tripa_de_Z	Si el manglar ha sido afectado por tripa de Zopilote		
Tala_ilega	Si existe tala ilegal de manglar		
Pesca_ileg	Si existe pesca ilegal (tapos)		
Seq_agua	Si el manglar ha sido afectado por sequestro de agua dulce para llevar a cabo agricultura y ganadería		
Contaminac	Si el agua está contaminada por desechos agrícolas		
Huracanes	Si el manglar ha sido afectado por huracanes, generalmente causando azolvamiento de canales que no reciben mantenimiento		

2.1.2.3. Limitantes

Se consideró el área total que podía ser seleccionada como la principal limitante en la identificación de sitios prioritarios para la restauración, con la lógica que mientras más área total es seleccionada más costosa será la implementación de acciones de restauración.

2.1.2.4. Unidades de decisión

Las unidades de decisión representan sitios concretos en donde potencialmente se pueden realizar acciones de restauración. Son útiles pues ayudan a comparar información de manera sistemática entre todo el conjunto de sitios potenciales. Para la RBMNN, las unidades de decisión estuvieron definidas por tres criterios, 1) que las unidades de decisión estuvieran dentro del polígono de la RBMNN, excluyendo los sitios RAMSAR, 2) que las unidades de decisión abarcaran todos aquellos sitios en donde se ha detectado manglar degradado, 3) que las unidades de decisión respetaran la geomorfología de los sistemas mareales previamente identificados por Blanco y Correa (2011), los cuales caracterizan regiones dentro de la RBMNN en donde el recambio de flujo mareal, estuarino y fluvial mantiene patrones similares. En total, se identificaron 468 unidades de decisión, con un tamaño promedio de 200 ha, mínimo de 41 ha y máximo de 534 ha. En total, las 468 unidades de decisión suman 121,487 ha.

La información de los diferentes objetivos y acciones (Tablas 3, 4 y 5) se agregó espacialmente a la escala de las unidades de decisión. Cada unidad de decisión tiene un número identificador único (ID) (Tabla 6).

Tabla 6. Agregado de los objetivos y acciones por unidad de decisión. La tabla con información se llama ‘matriz_SDU_datos’ y shapefile asociado ‘SDU_completo4’ en la carpeta ‘Datos’, asociada a este reporte.

Field	Descripción
SDU_ID	individual ID for each planning unit
reg_hidro	fluvial subregion name
Sistema_Ma	tidal system name
SDU_ha	total ha of SDU
Diagnostic	mangrove degradation driver according to Blanco y Correa (2011)
adapt_Blanco	labels used instead of the original text provided by Blanco y Correa (2011) to make the information more readable
lowD_ha	ha of low mangrove degradation inside SDU
mediD_ha	ha of medium mangrove degradation inside SDU
highD_ha	ha of high mangrove degradation inside SDU
vhD_ha	ha of very high mangrove degradation inside SDU
totD_ha	total ha of all four levels of mangrove degradation
medaltD_ha	ha of medium and high mangrove degradation inside SDU
medaD_ha_n	index of medium and high mangrove degradation inside SDU, 0-1, 1 more degraded ha
l_70_05	ha lost from 1970-80 to 2005
l_05_10	ha lost from 2005 to 2010
l_10_15	ha lost from 2010 to 2015
l_15_20	ha lost from 2015 to 2020
time_loss	time step where the highest loss occurred per SDU
i_time	index of time step where the highest loss occurred per SDU, 0.25 = 70_05, 0.5 = 05_10, 0.75 = 10_15, 1 = 15_20
c_mang	ha of conserved mangrove at 2km radius from SDU, including within SDU
c_mang_n	index of conserved mangrove at 2km radius from SDU, including within SDU, 0-1, 1 more conserved mangrove
ha_w	maximum water extent registered over a 37-year period, between 1984 and 2020, ha per SDU
prop_w	proportion of water extent relative to total area of SDU, 0-1, 1 total area of SDU covered by water extent
prop_w_n	index of water extent relative to total area of SDU, 0-1, 1 all area of SDU covered by water extent
ha_veg	ha of other vegetation that is not productive land or urban land at 2km radius from SDU, including within SDU
ha_veg_n	index of other vegetation that is not productive or urban land at 2km radius from SDU, 0-1, 1 more ha of other vegetation
apt_pesca	index of fishing suitability per SDU, 0-1, 1 more fishing suitability
apt_turism	index of tourism suitability per SDU, 0-1, 1 more tourism suitability
apt_agri	index of agricultural suitability per SDU, 0-1, 1 more agricultural suitability
apt_gana	index of grazing suitability per SDU, 0-1, 1 more grazing suitability
apt_acui	index of aquaculture suitability per SDU, 0-1, 1 more aquaculture suitability
priority_b	priority ranking only considering biophysical factors
priority_1	priority ranking considering biophysical factors + fishing and tourism suitability
priority_2	priority ranking considering biophysical factors + fishing and tourism suitability + agricultural, grazing and aquaculture suitability

2.1.3. Uso de optimización para resolver el problema de decisión

El problema de decisión se resolvió utilizando ROOT (Restoration Opportunities Optimization Tool) (Beatty et al., 2018). ROOT utiliza programación lineal para encontrar soluciones óptimas a problemas espaciales que tienen múltiples objetivos. En otras palabras, a través de un algoritmo, ROOT evalúa sistemáticamente cada unidad de decisión en su capacidad

de cumplir con los objetivos de restauración y limitantes que se establecieron teóricamente en el problema de decisión (Tabla 2).

Formalmente, ROOT resuelve el siguiente problema:

maximizar:

$$\sum_{i=1}^n w_i \sum_{j=1}^m p_{ij} x_j$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j = T$$

w_i = peso asignado a cada objetivo i

p_{ij} = valor de cada objetivo i en cada unidad de decisión j , normalizado de 1-0

x_j = variable de decisión binaria (1 = seleccionada / 0 = no seleccionada) que se asigna a cada unidad de decisión j

c_j = área total de cada unidad de decisión

T = límites de área total a seleccionar. Se utilizaron límites que van del 1 al 100% del área total que abarca la suma de todas las unidades de decisión.

La información que se necesita para correr ROOT está integrada en el folder 'ROOT' asociado a este reporte y está integrado por la siguiente información:

Folder: Objectives

objectives_table_scenarios.csv	Valores de '1' son los diferentes objetivos que se van a integrar a la priorización como una suma ponderada. Valores positivos '1' significa maximizar, valores de '-1' minimizar.
objectives_table_scenarios_guide.xlsx	Guía que describe los diferentes escenarios que se corrieron dependiendo de los objetivos que se incluyeron en la priorización (tabla 'objectives_table_scenarios.csv').

Folder: Constraints

6_constraints_table_1p.csv ... x_100p.csv	Tablas que indican el límite de área por seleccionar.
Constraints_ha.xlsx	Guía sobre el total de área equivalente del 1 al 100% del área total disponible para aplicar acciones de restauración.

Folder: Root_exe

El ejecutable para correr Root.

Anexo 3 - Resultados

Folder: Datos

Archivo: 'SDU_complete4'

Rangos de prioridad de las 468 unidades de decisión para la RBMNN bajo tres escenarios: **priority_b** = condiciones biofísicas tienen prioridad pues favorecen el restablecimiento natural de manglares, **priority_1** = condiciones biofísicas tienen prioridad pues favorecen el restablecimiento natural de manglares + provisión de pesca y turismo y **priority_2** = condiciones biofísicas tienen prioridad pues favorecen el restablecimiento natural de manglares + provisión de pesca y turismo + evitar zonas de agricultura, ganadería y acuicultura. El rango de prioridad va de 1 (más prioritario) a 100 (menos prioritario). Cada eslabón dentro del rango de prioridades equivale a 1,530 ha. Esto quiere decir que se identificaron un conjunto de unidades de decisión por cada rango de prioridad.

	A	B	C	D
1	SDU_ID	priority_bio	priority_bio_SE	priority_bio_SE_actP
2	1	1	1	1
3	2	1	2	1
4	5	1	3	1
5	8	1	2	1
6	48	2	3	1
7	74	1	1	1
8	154	9	13	1
9	173	1	1	1
10	225	4	8	1
11	242	3	10	1
12	245	1	1	1
13	289	1	1	1
14	280	2	3	1
15	282	1	2	1
16	442	2	2	1
17	32	3	5	2
18	47	4	5	2
19	57	3	4	2
20	68	7	12	2
21	163	1	1	2
22	205	16	37	2
23	246	10	24	2
24	270	5	7	2
25	53	2	3	3
26	56	7	10	3
27	76	12	14	3
28	91	5	9	3
29	92	1	1	3
30	156	21	41	3
31	174	18	28	3
32	261	3	8	3

Unidades de decisión con prioridad de 1 (la mayor prioridad)

Unidades de decisión con prioridad de 2 (la segunda mayor prioridad)

Unidades de decisión con prioridad de 3 (la tercera mayor prioridad)

Referencias

- Beatty, C. R., Raes, L., Vogl, A. L., Hawthorne, P. L., Moraes, M., Saborio, J., & Meza Prado, K. (2018). *Landscapes, at your service: Applications of the Restoration Opportunities Optimization Tool (ROOT)*. Gland, Switzerland: IUCN, vi + 74pp.
- Blanco y Correa, M. (Ed.). (2011). *Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales*. Universidad Autónoma de Nayarit y la Comisión Nacional Forestal con el patrocinio del Gobierno del Reino Unido.
- CONABIO. (2013a). *Distribución de los manglares en México en 1970-1981*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mexman70gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2013b). *Distribución de los manglares en México en 2005*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mexman2005gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2013c). *Distribución de los manglares en México en 2010*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mexman2010gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2016). *Distribución de los manglares en México en 2015*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mx_man15gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2021a). *Distribución de los manglares en México en 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mx_man20gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2021b). *Distribución de manglar perturbado de México en 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mx_mp2020gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2021c). *Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares de México en 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mx_oc2020gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Flores Uribe, E. Y. (2018). *Planificación espacial costero marina en Marismas Nacionales. Informe final del estudio de diagnóstico*. Parábola Ambiental.
- Godoy, M. D., & de Lacerda, L. D. (2015). *Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution*.
<https://doi.org/10.1590/0001-3765201520150055>
- Hemming, V., Camaclang, A. E., Adams, M. S., Burgman, M., Carbeck, K., Carwardine, J., Chadès, I., Chalifour, L., Converse, S. J., Davidson, L. N. K., Garrard, G. E., Finn, R., Fleri, J. R., Huard, J., Mayfield, H. J., Madden, E. M., Naujokaitis-Lewis, I., Possingham, H. P., Rumpff, L., ... Martin, T. G. (2022). An introduction to decision science for conservation. *Conservation Biology*, 36(1), e13868.
<https://doi.org/10.1111/cobi.13868>
- Marois, D. E., & Mitsch, W. J. (2017). A mangrove creek restoration plan utilizing hydraulic modeling. *Ecological Engineering of Sustainable Landscapes*, 108, 537–546.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.063>

- McLeod, E., & Salm, R. (2006). *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*. IUCN. <http://www.iucn.org/themes/marine/pubs/pubs.htm>
- Moilanen, A., Wilson, K., & Possingham, H. P. (2009). *Spatial Conservation Prioritization. Quantitative methods and computational tools*. Oxford University Press.
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, *540*(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Possingham, H. P., Andelman, S., Noon, B. R., Trombulak, S., & Pulliam, H. R. (2001). Making smart conservation decisions. In G. Orians & M. Soule (Eds.), *Research Priorities for Conservation Biology* (pp. 225–244). Island Press.
- Rogers, K. (2021). Accommodation space as a framework for assessing the response of mangroves to relative sea-level rise. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *42*(2), 163–183. <https://doi.org/10.1111/sjtg.12357>
- SEMARNAT. (2003). *Análisis con técnicas multicriterio, Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sengupta, R., Middleton, B., Yan, C., Zuro, M., & Hartman, H. (2005). Landscape characteristics of *Rhizophora* mangle forests and propagule deposition in coastal environments of Florida (USA). *Landscape Ecology*, *20*(1), 63–72. <https://doi.org/10.1007/s10980-004-0468-8>
- Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J., Cisneros-de la Cruz, D., Arceo-Carranza, D., Canul-Cabrera, A., Robles-Toral, P. J., Pérez-Martínez, O., Sierra-Oramas, D., Zenteno, K., UsBalam, H., Pech-Poot, E., Chiappa-Carrara, X., & Comín, F. A. (2021). *Manual for the ecological restoration of mangroves in the Mesoamerican Reef System and the Wider Caribbean*. Integrated Ridge-to-Reef Management of the Mesoamerican Reef Ecoregion Project - MAR2R, UNEP-Cartagena Convention, Mesoamerican Reef Fund.
- Worthington, T., & Spalding, M. (2018). *Mangrove Restoration Potential: A global map highlighting a critical opportunity*. IUCN, University of Cambridge, TNC. <https://doi.org/10.17863/CAM.39153>
- WWF. (2022a). *Mangrove Mapping for Colombia, Fiji, Madagascar, and Mexico*. WWF US.
- WWF. (2022b). *Matriz de identificación de sitios de restauración*. WWF México.